

# Analisi della tecnologia e approcci alla sua misurazione

*[Technology and Technometrics approaches]*

**Mario Coccia**

*National Research Council of Italy*

*Ceris-Cnr - Institute for Economic Research on Firms and Growth*

*email: m.coccia@ceris.cnr.it*

**Abstract.** The technological innovation, nowadays, is one of the most important determinant for increasing the wealth of the nations. Souder and Shrivastava said “*we can't begin to make decisions about technology until we understand it. And we can't begin to really understand it until we can measure it*”. For this reason within the economics a new branch called Technometrics is born: *it is a new theoretical framework for the conception and measurement of technological change with important policy implications* (Sahal, 1985). The aim of this paper is, after introducing the concepts of technological innovation as used by the economists during the nineteenth and twentieth-century, to show the historical evolution of the several approaches used to measure and evaluate the technology and technology change from 1930 to 2004. A discussion of these approaches shows the methodological difficulties and their potentials.

**Keywords:** Technometrics, Technology, Technological Change, Patterns of technological innovation, history of economic thought, systemic approach, innovation diffusion

**JEL Classification:** B11, B12, B20, B41, O30

WORKING PAPER CERIS-CNR

*Working paper N. 5/2004*

Anno 6, N° 5 – 2004

Autorizzazione del Tribunale di Torino

N. 2681 del 28 marzo 1977

*Direttore Responsabile*

Secondo Rolfo

*Direzione e Redazione*

Ceris-Cnr

Istituto di Ricerca sull'Impresa e lo Sviluppo

*Sede di Torino*

Via Avogadro, 8

10121 Torino, Italy

Tel. +39 011 5601.111

Fax +39 011 562.6058

[segreteria@ceris.cnr.it](mailto:segreteria@ceris.cnr.it)

<http://www.ceris.cnr.it>

*Sezione di Ricerca di Roma*

Istituzioni e Politiche per la Scienza e la Tecnologia

Via dei Taurini, 19

00185 Roma, Italy

Tel. 06 49937810

Fax 06 49937884

*Sezione di Ricerca di Milano*

Dinamica dei Sistemi Economici

Via Bassini, 15

20121 Milano, Italy

tel. 02 23699501

Fax 02 23699530

*Segreteria di redazione*

Maria Zittino e Silvana Zelli

[m.zittino@ceris.cnr.it](mailto:m.zittino@ceris.cnr.it)

*Distribuzione*

Spedizione gratuita

*Fotocomposizione e impaginazione*

In proprio

*Stampa*

In proprio

Finito di stampare nel mese di January 2005

**Copyright © 2004 by Ceris-Cnr**

All rights reserved. Parts of this paper may be reproduced with the permission of the author(s) and quoting the source.  
Tutti i diritti riservati. Parti di questo articolo possono essere riprodotte previa autorizzazione citando la fonte.

## INDICE

<b>1. La tecnologia negli economisti dell'Ottocento e del Novecento .....</b>	<b>5</b>
<b>2. La teoria sistemica .....</b>	<b>6</b>
2.1. <i>La diffusione dell'innovazione tecnologica.....</i>	<i>9</i>
2.2. <i>Modelli di sostituzione tecnologica.....</i>	<i>10</i>
<b>3. Approcci sulla misurazione del cambiamento tecnologico.....</b>	<b>12</b>
3.1. <i>Approccio Edonico di Court (1939), Stone (1956), Lancaster (1966) e Griliches (1971).....</i>	<i>12</i>
3.2. <i>Approccio Rand di Dodson (1970) ed il contributo di Alexander e Nelson (1973) e Martino (1985) sulle superfici trade-off.....</i>	<i>12</i>
3.3. <i>Misure empiriche del cambiamento tecnologico di Ayres (1985).....</i>	<i>13</i>
3.4. <i>Approccio Euristico di Lenz (1985).....</i>	<i>15</i>
3.5. <i>Un raffinamento dell'approccio edonico: il contributo di Saviotti (1985).....</i>	<i>16</i>
3.6. <i>Approccio funzionale di Majer (1985) e di Knight (1963).....</i>	<i>16</i>
3.7. <i>Approccio composito (Wholistic and Holistic) alla misurazione della tecnologia di Sahal (1985).....</i>	<i>17</i>
3.8. <i>Misurazione del cambiamento tecnologico di prodotti eterogenei (Alexander e Mitchell, 1985; Triplett, 1985).....</i>	<i>18</i>
3.9. <i>Modello tecnometrico di Grupp e Hohamyer (1986).....</i>	<i>19</i>
3.10. <i>La misura della tecnologia per lo sviluppo nazionale di Sharif (1986).....</i>	<i>20</i>
3.11. <i>Il contributo di Archibugi (1988).....</i>	<i>21</i>
3.12. <i>La misura del progresso tecnico di Ayres (1998).....</i>	<i>22</i>
3.13. <i>L'approccio sismico alla misurazione del cambiamento tecnologico (Coccia, 2004).....</i>	<i>23</i>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>26</b>
<b>Working Paper Series (2004-1993) .....</b>	<b>I-V</b>

**N**ello scenario turbolento del mercato globale la tecnologia è una variabile strategica per la competitività delle imprese e delle nazioni. La misura della tecnologia e del cambiamento tecnologico è indispensabile per delle corrette pratiche di management della R&D e di research policy. Sahal (1985) sosteneva “that they are essential for separating the wheat from the chaff in the selection of R&D projects and for monitoring progress or the lack thereof in any given area”.

Nella politica economica esplicite misure del cambiamento tecnologico hanno importanti implicazioni per la misurazione della crescita economica, studiare il comportamento dei consumatori, analizzare il commercio internazionale e valutare le politiche monetarie e fiscali. La tecnologia è un punto chiave nella previsione e gestione di nuove innovazioni di prodotto e processo.

L'importanza che oggi ha assunto l'innovazione fa sì che essa sia oggetto di numerosi studi, ma presenta il problema di essere difficile da analizzare ed ancora più difficile da misurare. La spiegazione è che l'innovazione è una funzione multidimensionale e lo studio delle sue dinamiche endogene ed esogene non possono essere ricondotte ad una sola disciplina, come l'economia. La technometrics è una recente area di specializzazione, nata nel Novecento nel campo delle scienze economiche ed ingegneristiche, con lo scopo di misurare la tecnologia ed il cambiamento tecnologico. Verso la metà del XX secolo essa è emersa come una distinta area di indagine nata dall'incontro di diverse discipline, quali la matematica applicata all'economia, l'econometria, la statistica matematica e multivariata e così via. L'interazione con altre scienze è un costante stimolo per questa branca dell'economia e della statistica. Sahal nel 1985 diceva a tal proposito [... there is a clue to the conundrum. It is to look at it from within rather than from without. Interestingly, once the issue is considered in an endogenous manner, the way is cleared for the development of a whole new theoretical framework for the conception and measurement of technological change – what can be called technometrics - with important policy implications.

... a technological characteristic in turn is best

*specified as a vector in an n-dimensional space generated by a set of n linearly independent elements such as mass, length, and time. ... This makes it possible to assess advances in the deep structure of technical knowledge by means of a non linear mapping from the multivariate parameter space to the dimensional vector space.*

...

*When pursued at length, they turn out to have many kith and kin in a variety of disciplines such as discriminatory topology, dimension theory, morphometrics, and pattern recognition. Thus, we have both drawn from, and in turn contributed to, these disciplines. We hope that this interdisciplinary give-and-take will continue in the future. By the same token, we feel that if the proposed subject of technometrics is ever fully developed, it must retain its independent identity while strengthening its interdisciplinary foundation.*

*To cite a parallel, the subject of Analysis of Variance was originally developed by R.A. Fisher in a purely biological context. It grew into the General Linear Model through a process of increasing sophistication to become an integral part of mathematical statistics.*

*Yet, one wonders whether the greater quantitative sophistication has come at the cost of fewer qualitative insights. One might even say that a gain for quantitative science appears to be a net loss for qualitative science.*

*The lesson for students of technology is obvious. We must avoid increased sophistication for its own sake. In particular, the need in the future is to preserve and nurture the independent flavor of technometrics.*

*This brings us to our conclusion. The subject of technometrics constitutes a conceptual framework for understanding innovation processes-rather than a methodological horse for conquering problematic territories-in the course of policy planning. The concepts of technometrics are intended to be aids to creative thoughts, not mere tools of problem solving. Hilton Cramer once observed that the more minimal the art, the more maximum the explanation. Likewise, it is by curtailing our focus on methodology that we stand a real chance of gaining insights into the nature of technology (Sahal, 1985:35)].*

I maggiori contributi alla technometrics sono rinvenibili in due riviste americane: *Technological Forecasting and Social Change* e *Technometrics*. La prima tratta direttamente le metodologie e pratiche della previsione tecnologica, gli studi sul futuro come mezzi di pianificazione e le loro relazioni con fattori sociali, ambientali e tecnologici. Questa rivista ha dato origine in questo campo ad una serie di importanti contributi sulla technometrics, molti dei quali saranno analizzati nel presente lavoro. La seconda rivista, a cura dell'American Statistical Association, nasce nel 1959 con la missione di contribuire allo sviluppo ed uso di metodi statistici nella fisica, chimica e scienze ingegneristiche. Il presente articolo si propone di descrivere l'evoluzione delle principali tecniche rivolte alla misurazione della innovazione tecnologia (sezione 4) ma, priva di fare ciò, si ritiene necessario, per una maggiore chiarezza espositiva, descrivere il concetto di tecnologia negli studiosi dell'Ottocento e Novecento (sezione 2-3). Una discussione conclusiva sui limiti degli approcci nonché sulle loro potenzialità, chiudono il lavoro.

### **1. La tecnologia negli economisti dell'Ottocento e del Novecento**

Nell'Ottocento molti studiosi analizzando i fenomeni economici non parlavano esplicitamente di tecnologia ma il concetto si poteva estrapolare dai riferimenti che facevano al termine scienza, invenzione, macchine e così via. Riferimenti alla tecnologia fra gli economisti prima di Smith, ossia fra i fisiocrati e i mercantilisti è scarsa e casuale. Tuttavia qualche idea economica riguardo alla tecnologia già esisteva. Ad esempio l'idea che un monopolio temporaneo serviva come incentivo economico a generare le invenzioni tecniche aveva la sua prima chiara espressione nello "Statuto dei Monopoli" in Inghilterra nel 1623. Bacone (1561-1626) credeva nel potere della scienza per migliorare le condizioni economiche della società. Prima di Bacone (e Galileo Galilei) il legame fra scienza e attività pratiche era oscurato da un sistema religioso e filosofico di pensiero che mirava al raggiungimento della salvezza dell'anima. Bacone (1629) nel suo libro *New Atlantis* affrontava tematiche che riguardano i primi rudimentali concetti di quella che successivamente sarà chiamata economia

dell'innovazione tecnologica. Smith (1776) sosteneva che la specializzazione e divisione del lavoro produceva un incremento della destrezza dei lavoratori, risparmio di tempo e applicazione di nuovi macchinari. Mentre Bacone vedeva scienza, tecnologia, politica, industria e religione come attività profondamente interrelate, Smith riconosceva la sfera economica con caratteristiche auto-regolanti, influenzata dalla tecnologia ma governata da una mano invisibile. Ricardo (1817), nel suo capitolo sulle macchine, parlava di tecnologia che risparmia lavoro. Secondo Granstrand (1994) lo studioso che prima di tutti si occupò dell'interpretazione dell'economia della tecnologia è Babbage (1791-1871) con il libro *On the economy of machinery, and manufacturers* del 1832. Granstrand sostiene che, sebbene oggi questo lavoro del 1832 sia stato dimenticato, può essere considerato dal punto di vista degli economisti industriali e della tecnologia, quello che il libro di Smith è stato per l'economia in generale. Il contributo di Babbage è soprattutto sulla divisione del lavoro e i suoi contributi sono focalizzati sull'importanza che ha nel risparmiare il lavoro all'interno delle imprese. Marx (1890; 1975) può essere considerato, invece, come il primo studioso che trattò esplicitamente il cambiamento tecnologico in un'ottica macroeconomica. Infatti, egli analizzò l'innovazione come un processo sociale e i suoi rapporti con capitale e lavoro possono generare un conflitto di classe e problemi di distribuzione.

Rae (1834) è il primo economista, secondo Brewer (1998), a vedere il cambiamento tecnologico come la principale causa della crescita economica. Rae considerava l'invenzione una variabile endogena della crescita economica (Coccia, 2004a), ed era anche un grande fautore di finanziamenti e sovvenzioni a neonate imprese, sostenendo che il legislatore doveva supportare il progresso delle scienze e della tecnologia (*art* secondo la sua terminologia).

Mill (1848) nel capitolo VII del libro *Principles of Economics*, inserisce l'invenzione e l'uso di macchine fra gli elementi che determinano un miglioramento della produttività del lavoro di una comunità. Mill rimanda per una spiegazione più accurata sul modo di accrescere la produzione e rendere economico il lavoro al libro di Babbage. Secondo l'economista inglese le più grandi invenzioni agricole erano l'applicazione di vari

procedimenti al terreno, come ad esempio la rotazione delle colture. Mill sottolineava anche l'importanza della diffusione del sapere fra il popolo e nel capitolo XI, sulla legge che regola l'accrescimento del capitale, parla del grande contributo del libro di Rae. Secondo Sahal (1985) Mill anticipò la teoria dei concetti connotativi e denotativi. Il primo enfatizzava sia un oggetto che le sue caratteristiche, mentre il concetto denotativo racchiudeva o l'oggetto o le sue caratteristiche, ma non entrambi. Un'automobile è un concetto denotativo poiché non implica particolari caratteristiche. Una benzina efficiente per macchine è invece un termine connotativo poiché si riferisce sia ad esso che alle sue caratteristiche. Col tempo questi concetti sono cambiati di significato ed oggi i concetti connotativi sono costrutti mentali (ad es. cerchio), mentre i concetti denotativi sono oggetti concreti (es. ruote). Questa distinzione è importante nell'applicazione di molte tecniche di technometrics che si vedranno in seguito.

Un altro studioso che si occupò di tecnologia è stato Veblen (1899; 1904) che enfatizzava l'importanza delle macchine e la classe degli ingegneri (l'importanza della professione degli ingegneri fu riconosciuta anche da Auguste Comte che vedeva gli ingegneri come l'anello di congiunzione tra scienza e tecnologia). Veblen era fautore anche di un approccio evolutivo nell'economia, una dichiarazione fatta quando l'economia iniziava a fissare i paradigmi dell'analisi marginalista (Marshall, 1890).

Nel Novecento Schumpeter (1939) è considerato lo scienziato che per primo ha analizzato in maniera sistematica il ruolo dell'innovazione tecnologica nelle moderne economie. Famosa è la sua distinzione fra invenzione ed innovazione tecnologica, distinzione che mette in luce come l'invenzione sia la creazione di nuove conoscenze a prescindere dalla loro effettiva utilizzazione, mentre per innovazione si intende l'effettiva utilizzazione a scopo produttivo di conoscenze per fare, in campo economico, *le cose in maniera diversa*, secondo la sua nota espressione. L'economista di Harvard analizzò anche gli effetti dell'innovazione tecnologica sulle imprese, settori e mercati, in particolare è famosa la sua posizione nei confronti dei monopoli (Schumpeter, 1911; 1942).

Secondo Sahal (1981) tre sono i principali

concetti di tecnologia che si possono individuare nella letteratura: neoclassico, di Pitagora e sistemico. I concetti si basano su questi elementi: 1) neoclassico descrive la tecnologia come una funzione di produzione; 2) Pitagora descrive la tecnologia con la cronologia delle maggiori invenzioni ed innovazioni; 3) sistemico considera la tecnologia in termini delle sue caratteristiche funzionali. Una tecnologia è per quello che una tecnologia fa.

Sahal (1981) sostiene che quest'ultimo concetto ha alcuni vantaggi sui due precedenti. Il punto di vista neoclassico e di Pitagora sono entrambi basati su un'antitesi di evoluzione, mentre c'è un'importante evidenza che suffraga il concetto dei sistemi di tecnologia: le innovazioni tecnologiche dipendono dallo sviluppo attuale. I tre concetti non si escludono a vicenda, ma sono piuttosto complementari in termini dei loro principali obiettivi. Il punto centrale dell'impostazione neoclassica è il processo di produzione che chiaramente non fornisce un significato chiaro della misurazione del cambiamento tecnologico. La concezione di Pitagora fornisce una misura chiara della tecnologia ma manca di una formulazione dell'attività di produzione. Il concetto sistemico è libero da queste limitazioni perché è strettamente legato al processo di innovazione. Secondo Sahal, il concetto sistemico, è quello più utile a misurare i contributi della tecnologia e valutare la sua evoluzione spazio-temporale. Vista l'importanza di tale approccio per alcune tecniche di misurazione della tecnologia che si descriveranno in seguito, si ritiene opportuno approfondirlo facendo anche una discussione sui suoi modelli di diffusione dell'innovazione tecnologica.

## 2. La teoria sistemica

Approccio sistemico e misure funzionali della tecnologia.

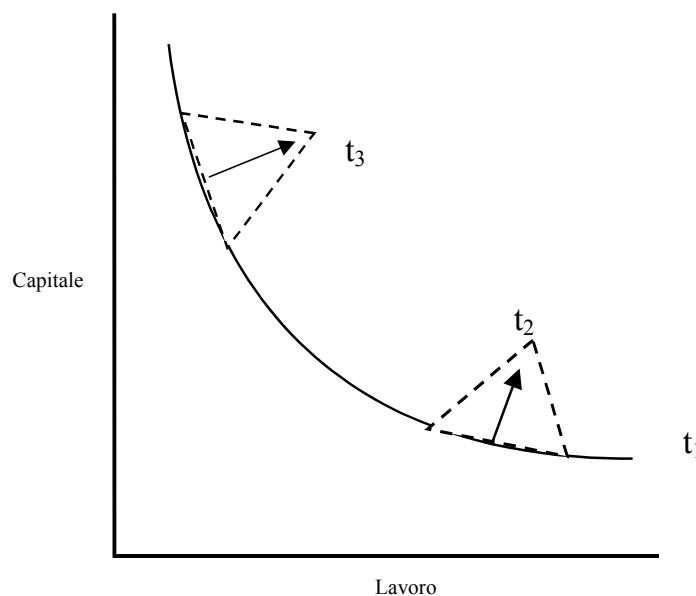
La teoria sistemica, a partire dagli anni Ottanta ha assunto un ruolo di primaria importanza fra le teorie non-neoclassiche di analisi dell'innovazione tecnologica. L'origine del *concetto sistemico di tecnologia* si fa risalire a due gruppi di studiosi che lavorarono in maniera indipendente l'uno dall'altro: gli *economisti* (Stewart, 1977) che si occupavano dei problemi di una appropriata tecnologia nei paesi sottosviluppati e gli *studiosi*

dei sistemi (Sahal, 1981) che si occupavano del management della Ricerca e Sviluppo (R&S) nei paesi industrializzati. A prima vista questi due gruppi di studiosi sembrerebbero avere poco in comune; invece, i loro punti di vista sono molto simili. Entrambi ritengono che una *tecnologia è meglio concepita in termini delle sue caratteristiche di rendimento*; questo porta a considerare come appropriate misure dello stato della tecnologia una variabile del tipo: efficienza consumo-combustibile di un congegno.

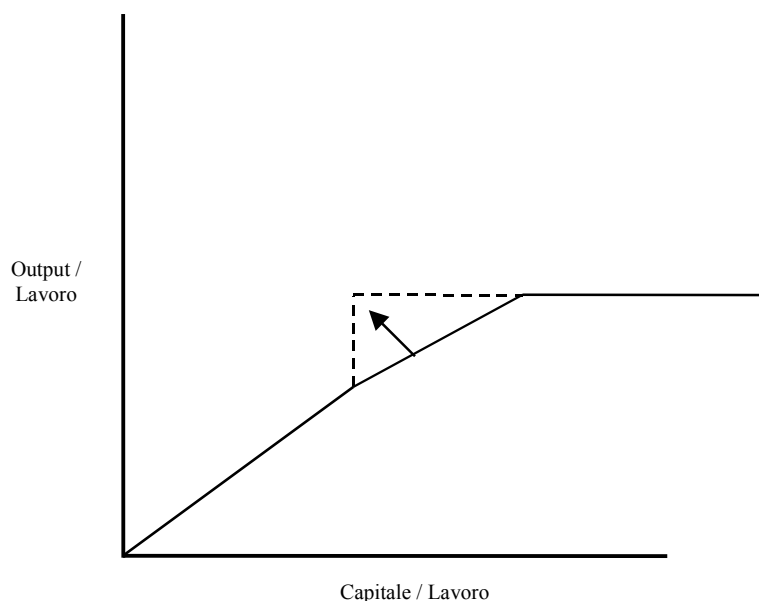
Il punto di vista degli economisti dello sviluppo economico ha origine dal loro scetticismo nei confronti della concezione neoclassica della tecnologia. La struttura neoclassica considera infatti, come variabili rilevanti il fattore di sostituzione degli input e il relativo rapporto di prezzo, trascurando le altre variabili che entrano nella scelta tecnologica come: il materiale impiegato, la disponibilità di esperienze, la scala dell'output, la natura e il genere del prodotto, ecc.

Alcune delle più importanti sostituzioni non

sono, ad esempio, tra lavoro e capitale ma, tra lavoro qualificato e lavoro non qualificato, tra attrezzature nuove ed obsolete, ecc. Inoltre gli economisti fanno notare come nei paesi in via di sviluppo è normale impiegare alcune delle più moderne tecnologie insieme a quelle tecnologicamente superate; in tal caso non è reale presupporre l'esistenza di un uniforme isoquanto ma, bisogna tener presente che le tecniche più vecchie potrebbero richiedere più capitale e lavoro contemporaneamente per unità prodotta, piuttosto che uno a spese dell'altro. In simili casi il modello convenzionale neoclassico della funzione di produzione non è possibile applicarlo. Gli economisti sostengono che il modello convenzionale di funzione di produzione è limitato a casi dove le cause del cambiamento tecnologico sono di natura storica e non è adatto ai problemi di una appropriata tecnologia nei paesi in via di sviluppo. Da qui la motivazione a cercare un'alternativa tecnologica.



**Figura 1:** Rappresentazione delle tecniche retrodatando a differenti periodi di tempo  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$



Fonte: Atkinson e Stiglitz, 1969

**Figura 2:** Progresso tecnico localizzato

Gli studiosi dei sistemi invece, iniziarono il lavoro in questo campo su una lavagna pulita. Le prime indagini hanno riguardato le risorse della tecnologia militare poi, il campo di indagine è stato progressivamente ampliato fino ad includere gli argomenti posti dal management della Ricerca e Sviluppo (R&S) a livello di impresa per una strategia tecnologica a livello settoriale e nazionale. Il punto focale delle loro indagini, comune agli economisti, è la *caratteristica funzionale della tecnologia*. Con questa nuova ottica si cerca di migliorare le caratteristiche del prodotto in relazione al processo di produzione.

Questi due gruppi di studiosi sostengono che una tecnologia deve avere la capacità di realizzare certe funzioni in maniera adeguata. Molto importante, nell'approccio sistemico, sono le *misure funzionali della tecnologia* che portano ad un'appropriata misura, obiettivamente valutata, dello stato della tecnologia. Ad esempio l'efficienza termica di un impianto di energia elettrica si può definire nel seguente modo (Sahal, 1981):

$$\frac{\text{produzione elettrica}}{\text{produzione termica totale del combustibile}}$$

Le misure funzionali della tecnologia sono di

maggior valore pratico per gli scopi organizzativi e direttivi che, per esempio, il concetto di funzione di produzione neoclassica. La giustificazione va ricercata nel fatto che le più utili variabili della ricerca industriale raramente sono di natura distributiva o economica. Ecco perché le misure funzionali di tecnologia sono strettamente collegate agli attuali obiettivi dell'attività innovativa. Un esempio viene dall'attività di R&S nel trasporto del greggio che è incentrata sulla riduzione del costo totale della costruzione dell'oleodotto (conduttura) e del controllo del flusso del greggio per mezzo di un cambiamento nella linea del diametro, piuttosto che nella riduzione del costo del capitale o lavoro in sé (Pearl ed Enos, 1975).

Le misure funzionali della tecnologia inoltre, tengono conto sia delle maggiori che minori innovazioni ed attribuiscono pesi adatti alla loro importanza secondo un denominatore comune.

Se si considera lo sviluppo della tecnologia del trattore agricolo, essa è stata resa possibile da moltissime innovazioni (i pneumatici, i sollevatori idraulici, la frizione a dischi gemelli, ecc.) e non è facile distinguere un'innovazione principale da un cambiamento secondario. Le variabili come l'ora cavallo-vapore per litro di combustibile e



l'efficienza del consumo di combustibile misurano sia le maggiori innovazioni come l'uso dei pneumatici che le innovazioni di minore importanza, come l'uso di valvole più durature.

Per quanto riguarda le *caratteristiche dei prodotti*, mentre la concezione neoclassica ritiene che le stesse non cambiano, l'approccio sistemico, invece, sostiene che il maggiore sforzo della attività di R&S delle imprese è diretto allo sviluppo di nuovi prodotti o al miglioramento dei vecchi. Questo è confermato da alcune indagini empiriche che dimostrano come la concezione sistemica sembra essere maggiormente vicina agli attuali scopi della moderna attività di R&S rispetto ad altre concezioni. Quindi il concetto sistemico presenta diversi vantaggi rispetto alla impostazione neoclassica, grazie alle misure funzionali della tecnologia che attribuiscono all'innovazione un'importanza per quello che "*l'innovazione fa*"; inoltre, in questa nuova impostazione si tiene conto delle caratteristiche dei prodotti che erano trascurati nella precedente concezione. Ma, il concetto sistemico di tecnologia è soggetto anche ad alcune limitazioni dovute alla mancanza di dati sul cambiamento delle caratteristiche funzionali della tecnologia nel corso del tempo e la maggiore fragilità a livello macro-economico. Per superare queste limitazioni si può coniugare il concetto sistemico col concetto di funzione di produzione dando in tal modo origine al concetto di *ingegneria della funzione di produzione* (Chenery, 1949) che consente di affrontare problemi difficilmente risolvibili con le concezioni prese singolarmente. Prima di analizzare i vari approcci alla misurazione della tecnologia si ritiene opportuno fare una descrizione dei modelli di diffusione dell'innovazione tecnologica poiché sono concetti base per alcuni approcci che si descriveranno.

### 2.1. La diffusione dell'innovazione tecnologica

Se si suppone che la decisione di un'azienda singola di adottare una nuova tecnica dipende dal numero di aziende che già la usano, il tasso di diffusione dell'innovazione ad un dato momento è:

$$N'(t) = rN(K - T)$$

che rappresenta il modello logistico, molto usato per simulare il processo di diffusione. Nel modello si ha:

$N'(t) = N_t - N_{t-1}$  è la variazione del numero di adottanti;

r = coefficiente di adozione;

K = livello di saturazione o di equilibrio detto anche "potenziale applicativo" (numero o percentuale di equilibrio dei potenziali adottatori cui la logistica tende asintoticamente);

N = una misura del livello di diffusione: volume di adozione della tecnica.

La soluzione di questa equazione differenziale è la ben nota funzione logistica:

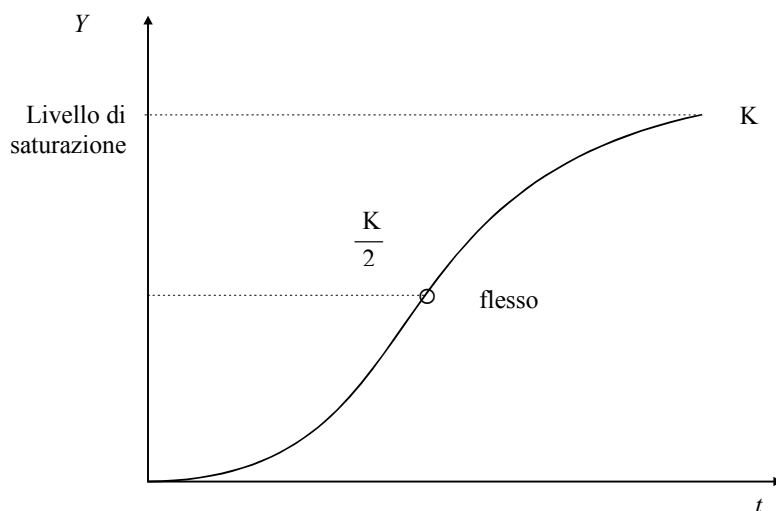
$$N = \frac{K}{1 + a \cdot e^{-bt}}$$

dove

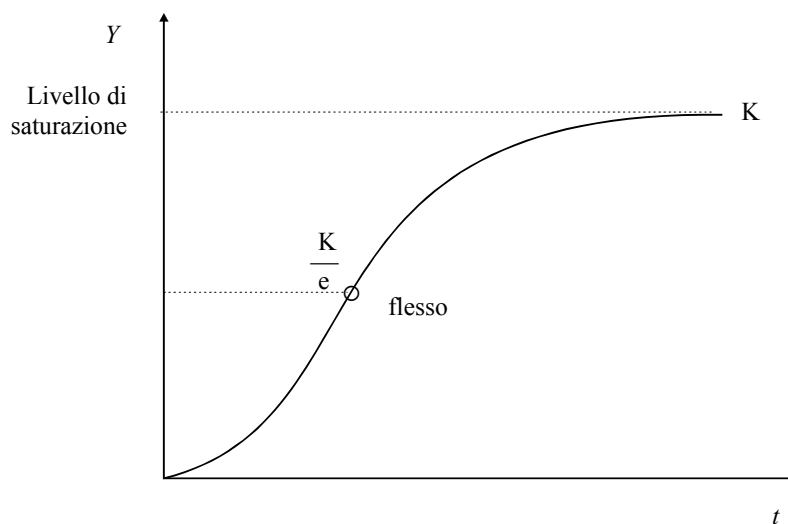
a = costante dipendente dalle condizioni iniziali;

b = r·k: misura le velocità del processo di diffusione.

La curva logistica è una curva simmetrica (con una doppia rotazione degli assi di 180°) a forma di S (Fig. 3a, b). Studi condotti evidenziarono come certi tipi di processi di diffusione possono essere adeguatamente descritti in termini di sviluppo logistico (Griliches, 1957). Frequentemente le ricerche empiriche sui processi di diffusione di innovazioni evidenziano un elemento di asimmetria. In tali casi, chiaramente, l'uso della funzione logistica risulta inadatto; un modello più aderente ai dati deve utilizzare curve asimmetriche a forma di S come quella prodotta da Gompertz (Fig. 3b) o la funzione di distribuzione cumulativa log-normale, ecc. La scelta di uno specifico modello deve essere fatta sulla base di una serie di principi ex-ante, anche se attualmente c'è una carenza teorica nel definire la forma funzionale del processo di diffusione.



**Figura 3a:** Curva logistica (simmetrica-S)



**Figura 3b:** Curva di Gompertz (asimmetrica-S)

La teoria sistemica considera il processo di diffusione strettamente collegato al processo di sviluppo tecnologico. Di conseguenza la diffusione è meglio concepita come un processo di sostituzione tecnologica di una nuova tecnologia con una vecchia. Ciò comporta un processo di instabilità riguardante la transizione da un livello di equilibrio corrispondente all'uso di una tecnica esistente, ad un altro livello di equilibrio, corrispondente all'uso di una nuova tecnica.

## 2.2. Modelli di sostituzione tecnologica

La concezione sistemica del processo di diffusione viene resa operativa attraverso due modelli quantitativi di sostituzione tecnologica. Il primo modello focalizza gli *aspetti temporali* del fenomeno e fu elaborato da Fisher e Pry nel 1971. Il secondo modello invece, mette a fuoco gli *aspetti spaziali* e fu elaborato da biologi studiando i cambiamenti morfologici dell'organismo (Reeve e Huxley, 1945). Questi due modelli sono collegati

tra loro da un rapporto di complementarità. Nei modelli vengono considerate le seguenti variabili divise in:

*Indicatori diretti*

X(t) = Volume di adozione di una nuova tecnica al tempo t; (es. numero di trattori nelle fattorie all'istante t);

Y(t) = Volume d'uso di una vecchia tecnica al tempo t; (es. numero di cavalli nelle fattorie al tempo t)

*Indicatori indiretti (nel caso di mancanza di dati)*

F = frazione del totale di output prodotto dalla nuova tecnica.

Il modello che viene presentato sarà formalizzato con indicatori diretti, considerando come chiave concettuale del processo diffusivo l'adozione. Partendo dalle variabili si costruiscono i cosiddetti rapporti di adozione:

$$f(t) = \frac{X(t)}{X(t)+Y(t)} \quad f'(t) = \frac{Y(t)}{X(t)+Y(t)}$$

da cui si ricava che:

$$f(t) + f'(t) = \frac{X(t)}{X(t)+Y(t)} + \frac{Y(t)}{X(t)+Y(t)} = \frac{X(t)+Y(t)}{X(t)+Y(t)} = 1$$

Se si considera che sia X che Y aumentino secondo un certo modello a forma di S (ad es. quello logistico) si ha:

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = rY(K - Y); \quad Y = \frac{K}{1 + ae^{-bt}}$$

dove:

Y= volume di adozione tecnica;

K = livello di saturazione;

a = costante;

r = saggio di crescita del processo di diffusione.

Sapendo che:

$$r = \frac{b}{K};$$

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = \frac{b}{K_1} Y(K_1 - Y); \quad \log Y = \log(K_1 - Y) + A + b_1 t;$$

$$\log \frac{K_1 - Y}{Y} = a_1 - b_1 t; \quad Y = \frac{K_1}{1 + e^{a_1 - b_1 t}}$$

Analogamente per X:

$$\log \frac{K_2 - X}{X} = a_2 - b_2 t; \quad X = \frac{K_2}{1 + e^{a_2 - b_2 t}}$$

**Modello quantitativo nell'aspetto temporale**

Questo modello considera i mutamenti cronologici nel sistema attribuibili alla crescita nel tempo dell'adozione di una tecnica, ossia la tendenza temporale dell'adozione di una tecnica in rapporto al suo livello di saturazione. Nel modello l'essenza dell'ipotesi di sostituzione tecnologica è la caratteristica squilibrante del processo di diffusione. Infatti si ipotizza che lo squilibrio del sistema nella transizione d'uso delle due tecniche è proporzionale alla dinamica dello squilibrio nell'uso di ciascuna tecnica: il macrosistema dipende dai microsistemi.

Formalmente si ha:

$$\log f(t) - \log f'(t) = g \left[ \log \frac{K_2 - X}{X} - \log \frac{K_1 - Y}{Y} \right]$$

Squilibrio nell'uso di X      Squilibrio nell'uso di Y

$$\log f(t) - \log [1 - f(t)] = g [a_2 - b_2 t - (a_1 - b_1 t)]$$

risolvendo ed imponendo  $\alpha_1 = g(a_2 - a_1)$ ;  $\beta_1 = g(b_1 - b_2)$

con g= misura della velocità di transizione tra un equilibrio e l'altro

$$\log \frac{f(t)}{1 - f(t)} = \alpha_1 + \beta_1 t \quad \text{Modello temporale}$$

proporzione d'uso di una tecnica in confronto all'altra      I parametri stimati Econometricamente sono due

**Modello quantitativo nell'aspetto spaziale**

Questo modello considera i mutamenti morfologici nel sistema attribuibili alla "graduale" sostituzione tra le due tecniche vecchie/nuova, ossia il volume di adozione di una tecnica in confronto all'altra. Se dalla forma funzionale della logistica si ricava t si ha:

$$t = \frac{a_1}{b_1} - \frac{1}{b_1} \log \frac{K_1 - Y}{Y} = \frac{a_2}{b_2} - \frac{1}{b_2} \log \frac{K_2 - X}{X}$$

$$\text{da cui} \left( \frac{Y}{K_1 - Y} \right)^{\frac{1}{b_1}} e^{\frac{a_1}{b_1}} = \left( \frac{X}{K_2 - X} \right)^{\frac{1}{b_2}} e^{\frac{a_2}{b_2}}$$

effettuando calcoli ed opportune imposizioni si arriva a:

$$X = A_1(Y)^{B_1} \quad \text{modello spaziale}$$

Volume di adozione della nuova tecnica X in confronto alla vecchia Y.

La forma del modello ottenuto è *linearizzabile* nei parametri:

$$\log X = \log A_1 + B_1 \log Y$$

da cui

$$X' = A' + B_1 Y'$$

che risulta essere un modello stimabile econometricamente nei due parametri.

#### *Osservazione*

Al posto delle variabili X e Y (indicatori diretti) che rappresentano l'estensione di adozione della vecchia e nuova tecnica rispettivamente, si possono utilizzare indicatori indiretti. In tal caso la variabile dipendente è rappresentata da F che rappresenta la percentuale di diffusione della nuova tecnica, la variabile indipendente invece, è il complementare 1-F. Quanto ai calcoli essi sono uguali a quelli già effettuati per gli indicatori diretti.

### **3. Approcci sulla misurazione del cambiamento tecnologico**

Nell'ultimo, secolo diversi, sono stati gli approcci presentati sulla misurazione dell'innovazione e del cambiamento tecnologico. Nell'introduzione si è detto che due riviste americane hanno principalmente contribuito allo sviluppo della tecnometria che sono Technometrics e Technology Forecasting e Social Change. Quanto alla prima rivista, apparsa per la prima volta nella primavera del 1959, i primi fondatori, Box, Wilson e Hunter (1983), avevano l'obiettivo di migliorare la comunicazione tra statistici e scienziati nel campo della fisica, chimica e delle scienze ingegneristiche. L'idea era di pubblicare papers applicati con molti esempi numerici. L'utilizzo della matematica era necessaria, ma la chiarezza espositiva era essenziale (Hunter, 2000; Kafadar, 2000). I contributi riguardavano ad esempio: la valutazione della precisione delle abilità acquisite per calibrare i contatori del flusso criogenico (Joiner, 1977); l'applicazione di procedure statistiche per provare l'efficienza dei pacemakers cardiaci nuclear powered (Barnett *et al.*, 1978); l'utilizzo della metodologia della simulazione stocastica come strumento per valutare le performance dei potenziali depositi di scorie nucleari (Gotway, 1994); l'applicazione della valutazione non distruttiva ad aree di manufacturing e operations dell'industria (Olin e

Meeker, 1996); l'applicazione della regressione non lineare nella ricerca e sviluppo dell'industria elettronica (Kafadar, 1994) e così via. Gli esempi suddetti mostrano come la rivista technometrics si focalizzi soprattutto sull'applicazione di metodologie statistiche per la soluzione di problemi pratici nell'industria, più che nel mettere a punto un framework teorico per la misurazione della tecnologia e del cambiamento tecnologico con implicazioni di policy (Sahal, 1985). Nel presente lavoro ci si focalizzerà su quest'ultimo aspetto che ha avuto i suoi più grandi contributi nell'altra rivista: *Technological Forecasting and Social Change*. Infatti su quest'ultima rivista, nel corso degli anni, gli studiosi hanno presentato, a più riprese, i loro diversi approcci di technometrics, che in questa sede si cercherà di descriverli nella loro evoluzione storica, partendo dagli inizi del Novecento e fino ad arrivare ai nostri giorni.

#### *3.1. Approccio Edonico di Court (1939), Stone (1956), Lancaster (1966) e Griliches (1971)*

L'ipotesi base di questo approccio è che l'utilità di un prodotto o servizio è nei suoi attributi essenziali o caratteristiche qualitative; ad esempio nel caso di un'automobile è la dimensione, la potenza e il risparmio di carburante. La variazione di prezzo fra i diversi beni o servizi può essere spiegata, al tempo  $t$ , con le differenze nelle caratteristiche qualitative. Secondo questo approccio una volta che un insieme di attributi è selezionato e la forma della relazione funzionale specificata, i cambiamenti osservati nel prezzo di un bene possono essere decomposti in due effetti: cambiamento tecnologico e puro prezzo. I cambiamenti nella qualità possono quindi essere stimati in termini della differenza tra i cambiamenti dei prezzi attuali e i cambiamenti di prezzo puro. È importante osservare che l'approccio edonico ha come assunzione implicita che il mercato è competitivo. Se il mercato è imperfetto l'interpretazione della relazione prezzo-qualità diviene qualche volta problematica.

#### *3.2. Approccio Rand di Dodson (1970) ed il contributo di Alexander e Nelson (1973) e Martino (1985) sulle superfici trade-off*

La differenza fra questo approccio e il precedente è nella scelta della variabile dipendente che è il prezzo nell'approccio edonico, e gli anni del

calendario in quello Rand<sup>1</sup>. Dodson definisce lo stato dell'arte (SOA) per un dato campo tecnologico come il piano in uno spazio a due dimensioni o l'iperpiano in uno ad  $n$ -dimensioni, dove  $n$  è il numero delle caratteristiche essenziali della tecnologia. Egli propose due superfici base, quella planare e quella ellissoidale che matematicamente hanno le seguenti equazioni:

$$\begin{array}{ll} \text{Planare} & \text{Ellissoidale} \\ \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i}{a_i} \right)^2 = 1 & \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i}{a_i} \right) = 1 \end{array}$$

dove le  $x_i$  è la  $i$ -esima caratteristica della tecnologia e  $a_i$  è lo  $i$ -esimo parametro (una costante).

Un contributo a questo approccio si è avuto con il raffinamento delle superfici trade-off. Infatti il progettista è libero di muoversi sulla superficie per generare progetti alternativi che non si sposterebbero in una superficie più bassa poiché questa sarebbe inefficiente. Il progettista non si può muovere in una superficie più alta senza un avanzamento nella SOA. Il preciso punto della superficie trade-off che il progettista sceglie dipende dai bisogni del consumatore. Il punto del progetto selezionato rappresenta il punto di tangenza fra l'user's constant-utility trade-off surface e la SOA trade-off surface accessibile al progettista. Il primo contributo sulle superfici trade-off in uno spazio bidimensionale è attribuibile a Knight (1963). Dodson (1970) sviluppò superfici trade-off in uno spazio multidimensionale, sostenendo che esse dovevano

essere convesse e scegliendo l'ellisse come la più semplice superficie che avesse le caratteristiche desiderate. Alexander e Nelson (1973) svilupparono una procedura alternativa utilizzando iperpiani anziché ellissi ed applicando il metodo alle aircraft turbine engines.

Martino (1985) nella sua ricerca sulle superfici trade-off si ispira al lavoro di Dodson ma con due varianti: a) Dodson limitava le sue superfici a ellissi di ordine 2, il metodo di Martino è esteso a ellissi di qualsiasi ordine così la superficie da stimare ha la seguente equazione:

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i}{a_i} \right)^n = 1$$

dove  $n$  è l'ordine dell'ellissi,  $x_i$  è il valore della  $i$ -esima variabile e  $a_i$  è l'intercetta dell'ellissoide sullo  $i$ -esimo asse; b) Martino (1985) cambiò la procedura di stima minimizzando la Mean Absolute Deviation (MAD) piuttosto che la Mean Square Deviation (MSD) poiché la superficie passava attraverso il punto mediano, invece del punto medio.

### 3.3. Misure empiriche del cambiamento tecnologico di Ayres (1985)

Ayres propose un approccio che proponeva misure basate sulla comprensione fisica delle funzioni critiche svolte dai vari prodotti e servizi. L'approccio, di tipo top-down, serviva a misurare il cambiamento tecnologico a livello di settore. Ogni settore è identificato in termini del suo contributo ai materiali, processi e/o prodotti. Ayres costruisce la seguente funzione obiettivo con lo scopo di minimizzarla, ad ogni stage del processo produttivo e relativo settore:

$$\frac{\text{Cost}(\$)}{\text{Output (in unità fisiche)}}$$

Le misure fisiche degli output, come i settori, posso in genere essere ulteriormente disaggregati come appropriato. Ayres proponeva un insieme di misure di output generalizzate per differenti settori economici, in termini di desiderate performance tecnologiche. La tabella 1 mostra la settorializzazione dell'economia proposta da Ayres (1985). Per molti settori, eccezion fatta per la chimica, è possibile caratterizzare la principale funzione obiettivo del prodotto del settore in maniera semplice, come mostrato nella seconda colonna.

<sup>1</sup> Durante la seconda guerra mondiale era importante la ricerca tecnologica e lo sviluppo per il successo delle battaglie navali ed un ampio gruppo di scienziati, al di fuori del campo militare erano impegnati nei possibili sviluppi. Nel maggio nel 1948 il progetto Rand si separava dalla Douglass Aircraft company di Santa Monica, in California e diventava una organizzazione non-profit. Il nome deriva da un contrazione di *research and development*. Lo scopo della neonata organizzazione è di promuovere la ricerca scientifica e la formazione univertaria, nonché opere di beneficenza per il benessere pubblico e la sicurezza degli Stati Uniti d'America. Alle origini il progetto Rand contava 2000 esperti con competenza nel campo della matematica, ingegneria, aerodinamica, fisica, chimica, economia e psicologia. Fra i tanti contributi, oltre a quello di importanti progetti, ci sono il finanziamento e di una serie di riviste che oggi hanno un ruolo fondamentale nel dibattito all'interno della comunità scientifica.

Ovviamente il suddetto insieme di caratterizzazione è in qualche caso semplificato per convenienza. Così è assunto che la funzione obiettivo da massimizzare in molte materiali applicazioni è la forza elastica per unità di peso. Altri attributi possono essere richiesti come vincoli, dipende dall'applicazione. Questi includono la flessibilità, trasparenza (ad esempio per finestre ed alcuni containers), elasticità (per pneumatici), resistenza al calore o elettricità, resistenza alla corrosione e così via. In alcuni casi è massimizzato uno degli attributi (malleabilità,

conduttività elettrica e termica, resistenza alla corrosione, etc.), mentre la forza ha bisogno di eccedere solo un livello minimo. In altri casi la funzione obiettivo fisica reale è una combinazione di diversi attributi, con diversi pesi a seconda del loro uso. Ad esempio questo vale per alcune voci di consumo, come ad esempio mobili e batterie da cucina, dove il metallo, il legno, la plastica, il vetro, la ceramica sono in competizione con alcuni successi. Comunque una semplice funzione obiettivo fisica sembra essere sufficiente a caratterizzare i maggiori usi dei materiali.

**Tabella 1:** Settorializzazione dell'economia secondo Ayres

Sector Output	Objective Function and Measure	Units (standard metric)
Agriculture and Fishery		
Products and Processing		
Grain & Products	Food & Feed energy	Joules (J)
Fruits & vegetables	Food energy	Joules (J)
Dairy products	Food energy	Joules (J)
Meat & fish	Food & Flexible material (FM)	Joules (J)
Cotton	Flexible material (FM)	TS/kg
Forest Products & Processing		
Lumber & wood products	Rigid material (RM)	TS/kg
Paper pulp & paper products	Flexible material (FM)	TS/kg
Minerals and Processing		
Coal & Coke	Energy content	J/kg
Petroleum & products	Energy content	J/kg
Petroleum & products	Chemical feedstock	CF
Natural gas & products	Energy content	J/kg
Natural gas & products	Chemical feedstock	CF
Ferrous metals	RM	TS/kg
Aluminium, copper	RM	TS/kg
Aluminium, copper	Electrical conductivity	EC/kg
Lead, Zinc	Chemical and misc.	*
Stone, clay, cement	RM	CS
Glass	Transparent RM	TS/kg
Inorganic chemicals	Miscellaneous reagents, bleaches, pigments	
Organic chemicals	Solvents, coatings	*
	Synthetic fibres (FM)	TS/kg
	Rubber (elastic RM)	TS/kg
	Plastic RM	TS/kg
Manufacturing Industry		
Containers, rigid	Volume enclosure, fluid (fluid loss/cm <sup>2</sup> sec) <sup>-1</sup> /per unit weight	m <sup>2</sup> sec/kg <sup>2</sup>
Containers, flexible	As above	m <sup>2</sup> sec/kg <sup>2</sup>
Clothing, warm	Thermal enclosure (heat loss/sec per unit weight)	cal/sec kg
Insulating panels	As above	m <sup>2</sup> sec/J kg
Weapons (mobile)	Power × range × precision per unit weight	W/m kg
Machine tools, stationary	Power × precision	W/m <sup>2</sup>
Prime movers, stationary	Power	W
Prime movers, mobile	Power × time/weight	J/kg
Refrigeration equipment	Heat removal per unit time	J/sec or J/sec kg
Construction	Volume enclosure of fluids and beat	(See containers)
Transportation Passenger	Capacity × distance per unit time	pass-km/sec
Freight	Capacity × distance	kg-km or kg-km/sec
Electricity generation and distrib.	Energy conversion efficiency	%

TS = Tensile strength (kg/m<sup>2</sup>); CS = Compressive Strength (kg/m<sup>2</sup>); EC = Electrical Conductance (Siemens/kg) or (ampere<sup>2</sup>/watt-kg)  
\* = Must be disaggregated further.

Fonte: Ayres (1985)

3.4. *Approccio Euristico di Lenz (1985)*

La procedura euristica per la misurazione dell'avanzamento tecnologico non è ancora considerata come un metodo o una tecnica. Lenz descriveva l'approccio euristico per selezionare misure di avanzamento tecnologico che potevano essere usate per forecasting e decision making. L'attuazione pratica di questa metodologia può includere uno o tutti i seguenti elementi: 1) definizione di singoli parametri che determinano una superiorità operativa o un vantaggio economico nel misurare le performance tecnologiche. 2) Sviluppo di un insieme gerarchico dei vari parametri i cui valori sono le principali misure di performance. 3) Determinazione di una misura composita della performance necessaria ai vari artefatti tecnologici per sopravvivere e competere.

La procedura euristica coinvolge le seguenti assunzioni relative alla tecnologia misurata:

1. la tecnologia è di sufficiente importanza ad assicurare le spese degli sforzi a misurare le sue performance;
2. i potenziali cambiamenti in performance potrebbero risultare in utili miglioramenti;

3. alcuni dati relativi al presente e passato delle performance siano disponibili;
4. i cambiamenti della tecnologia qualche volta procedono in maniera monotona, e che i cambiamenti misurabili avvengono abbastanza frequentemente per permettere la scoperta di pattern;
5. il previsore ha almeno una ragionevole comprensione delle caratteristiche essenziali relative alla tecnologia misurata.

L'etichetta euristica è raramente applicata a tecniche descritte nella letteratura. Tuttavia la maggioranza dei trend analizzati nella letteratura e le più attuali previsioni indicano la dominanza dell'approccio euristico. Secondo Lenz alcune misure di performance delle varie tecnologie sono diventate tali più o meno accidentalmente durante la storia della tecnologia: il cavallo vapore come misura delle performance dei motori e la velocità degli aerei sono alcuni tipici esempi (Tabella 2).

Esempi di applicazione dell'approccio euristico sono abbondanti nella storia della tecnologia. Lenz descrive quello della lampadina, della tecnologia della comunicazione satellitare e produttività nazionale delle linee aeree. Egli chiaramente crede fermamente in questo approccio.

**Tabella 2:** Singoli parametri di misura dello status della tecnologia

<i>Technology</i>	<i>Parameter in Common Use</i>	<i>Surrogate for</i>	<i>Adequacy as a True Measure of Performance</i>	<i>Significant Performance Factors omitted in Measurement</i>	<i>Measurement Characteristics</i>
Electric lamp	Lumens per watt	Overall illumination efficiency	Closely related to life-cycle efficiency. Improvement parallels overall efficiency	Lamp life Lamp cost Lamp maintenance Cost of electricity Wave-length utility	Scientific units Easy Accurate Standardized
Aircraft jet engine	Static thrust at sea level	Propulsive ability under operating conditions	Good comparator of engines, ceteris paribus Not directly related to operational performance Cannot be compared with similar measures for non-jet engines	Engine weight Fuel consumption Effects of altitude and speed	Controlled conditions Adequate measuring equipment Commonly used and reported
Generation of electricity	Watts per BTU	Net gain in resource utilization	Good measure within the boundaries of a well-established technology	Fuel differences Alternative technologies Capital requirements Waste disposal	Scientific units Standardized Well-reported

Fonte: Lenz (1985)

3.5. *Un raffinamento dell'approccio edonico: il contributo di Saviotti (1985)*

Saviotti applicava due metodi per mappare e misurare il cambiamento tecnologico: 1) uso della tecnica delle componenti principali; 2) uso della tecnica dei prezzi edonici. L'ipotesi base del metodo di Saviotti è che l'utilità di un prodotto o servizio è nei suoi attributi essenziali o caratteristiche qualitative. Il suo approccio è una combinazione di differenti metodi. In primis si dà una descrizione delle caratteristiche dei prodotti (un determinato modello può essere descritto come un insieme di caratteristiche e loro valore). Secondo, la qualità del prodotto dipende (è una funzione) dalle sue caratteristiche e dalla relativa importanza:

$$Q_j = f(a_1, \dots, a_n, X_{1j}, \dots, X_{2j}, \dots, X_{kj})$$

dove  $a_i$  è la relativa importanza della  $i$ -esima caratteristica e  $X_{ij}$  è il livello quantitativo della stessa caratteristica nel modello del prodotto  $j$ . Il cambiamento tecnologico (TC), in un dato istante di tempo, può essere definito come il cambiamento che è avvenuto in un dato periodo di tempo:

$$TC_j = \frac{\Delta Q_j}{\Delta t}$$

Sia la qualità, sia il progresso tecnologico sono definiti nelle due suddette equazioni e possono essere calcolati a differenti livelli di aggregazione partendo da un singolo modello di prodotto. L'autore calcola in primis gli indici e poi appropriate medie per una particolare impresa, settore e paese. Saviotti sostiene che probabilmente la più semplice forma funzionale della relazione tra qualità e caratteristiche del prodotto è una combinazione lineare:

$$Q_j = \sum_{i=1}^n a_i X_{ij}$$

Dopo aver stimato la funzione con tecniche di regressione, i cambiamenti osservati sono decomposti in un effetto di cambiamento tecnologico/qualità ed un effetto di puro prezzo. Il metodo è illustrato usando la tecnologia delle motor car, in un periodo che copre il mercato UK dal 1955 al 1983.

3.6. *Approccio funzionale di Majer (1985) e di Knight (1963)*

Wimmer (1975) definiva la qualità come: the condition or nature of a good or service with an

objective dimension (attributes of a products, substance, function, worked material) and subjective perception of this nature (aesthetic and ethic dimensions, judgement based on psychological factors), and the purpose or use of a good or o service, also with objective dimension and a subjective perception.

La misurazione di questa definizione si ha utilizzando attributi o caratteristiche (di beni o servizi) che descrivono la loro natura e che riflettono il loro uso o scopo.

La condizione e la natura sono dati da misure fisiche come il peso e la velocità che forniscono un'oggettiva valutazione; mentre l'uso e lo scopo sono valutate soggettivamente e riguardano fattori psicologici ed ambientali. La forma funzionale segue l'approccio di Gordman e Lancaster ed è applicata alla misura della qualità del cambiamento tecnologico nella seguente forma additiva:

$$Q = \sum_{j=1}^n \beta_j F_j$$

dove la qualità  $Q$  di un bene o servizio è la somma ponderata della qualità  $F$  della  $j$  funzione del bene o servizio (subqualities). Queste ultime sono calcolate come:

$$F = \sum_{i=1}^k \alpha_i E_i$$

dove le suqualities sono una somma ponderata delle  $i$  caratteristiche ( $E$ ). Così si ha:

$$Q = \sum_{j=1}^n \beta_j \left( \sum_{i=1}^k \alpha_i E_i \right)_j$$

Una volta definita la qualità come un paniere di funzioni che aggrega un insieme di caratteristiche, la misurazione è svolta con un approccio lineare che prende il livello della qualità come una somma ponderata delle funzioni. Majer (1985) applica il suo metodo sull'esperienza dell'organizzazione German Stiftung Warntest che usa un mix di misure scientifiche e valutazione di esperti.

Knight (1963) sostiene che una definizione funzionale e strutturale può fornire una più accurata misura del cambiamento tecnologico. Il modello strutturale di Knight trova la sua origine nel lavoro di Burks, Goldstine e von Neumann (1946) che descrivevano il computer in maniera gerarchica: i livelli della gerarchia erano distinti attraverso gradi al quale essi specificano le caratteristiche del computer. Knight sottolinea come l'evoluzione della tecnologia dei computer digitali è descritta in base a ciò che gli studiosi



osservavano dando molto spesso opinioni soggettive. Gli storici della tecnologia dipendevano per le loro opinioni dai giudizi degli esperti per individuare i miglioramenti importanti o le innovazioni e quindi valutare l'impatto della tecnologia. L'approccio funzionale e strutturale vuole cambiare questo approccio seguito dagli storici del digital computer e usare una tecnica precisa che richiamerebbe l'attenzione su tutte le innovazioni per misurare il valore di ognuna. La descrizione funzione di un nuovo computer mostra come si è avuto l'avanzamento tecnologico ma per descrivere accuratamente i dettagli del nuovo sviluppo c'è bisogno di una descrizione strutturale. Lo sviluppo è identificato comparando la struttura di un nuovo sistema del computer con quella precedente. Si notano una serie di nuovi elementi e miglioramenti nelle caratteristiche delle performance. Il risultato dei cambiamenti strutturali rappresentano la nuova tecnologia introdotta. Questo metodo, secondo Knight, dà una precisa definizione di ciò che è e non è un cambiamento tecnologico in termini di miglioramento di performance.

### 3.7. *Approccio composito (Wholistic and Holistic) alla misurazione della tecnologia di Sahal (1985)*

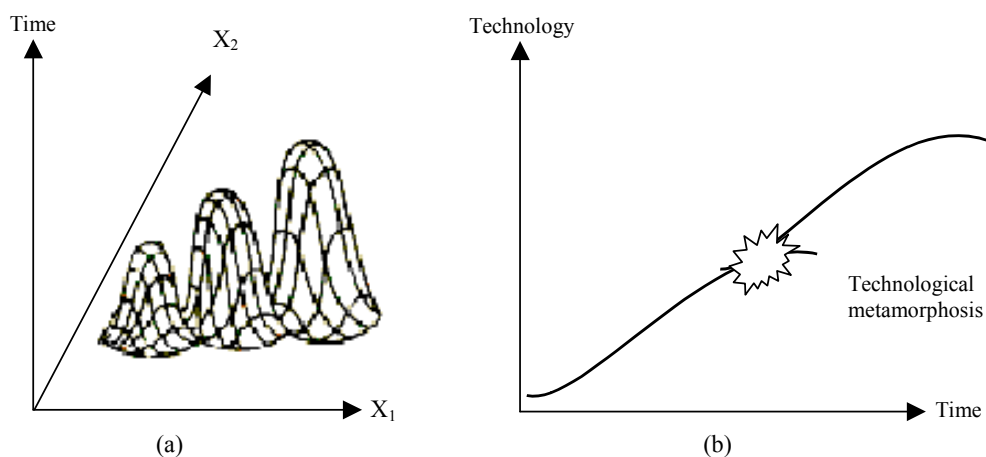
L'approccio di Sahal alla misurazione della tecnologia è formato da due approcci distinti ma correlati. Nel primo approccio (wholistic) lo Stato dell'Arte (SOA) calcolato al tempo  $t$  è rappresentato con un contorno di isodensità o montagna di probabilità innalzata su un piano. In tal caso la magnitudo della capacità tecnologica è data dall'altezza delle montagne. La magnitudo del cambiamento tecnologico può anche essere stimata attraverso la differenza nelle altezze delle

successive montagne.

Nel secondo caso (holistic o olistico, approccio integrale e caratterizzato da principi che si orientano sulla stabilità e l'instabilità) la superficie del SOA si riduce ad un punto come una conseguenza della transmutazione degli originali parametri spaziali in uno spazio dimensionale vettoriale. I successivi punti nei vari istanti di tempo costituiscono un pattern generale dell'evoluzione tecnologica che si evince da una serie di curve ad S (Figura 4). In breve gli approcci alla misurazione del cambiamento tecnologico come altri precedentemente discussi forniscono una crescente rappresentazione del SOA all'interno di un dato campo. Nell'approccio tecnometrico di Sahal ci sono due idee base: la SOA è meglio specificata in termini di una superficie di densità di probabilità costante, data la distribuzione delle caratteristiche tecnologiche. Questa rende possibile misurare gli avanzamenti nella struttura della superficie del cambiamento tecnologico in termine della distanza generalizzata tra gli oggetti sotto considerazione. Seconda idea, le caratteristiche tecnologiche sono meglio specificate come un vettore in uno spazio ad  $n$ -dimensioni generate da un insieme di  $n$  elementi linearmente indipendenti come ad esempio massa, lunghezza e tempo. La magnitudo delle caratteristiche tecnologiche è rappresentata dalla lunghezza del vettore, mentre la specie delle caratteristiche è rappresentato dalla sua direzione. Questo rende possibile valutare gli avanzamenti in profondità, nella struttura della conoscenza tecnica per mezzo di una mappatura non lineare dallo spazio parametrico multivariato allo spazio di dimensione vettoriale. Queste due idee sono distinte ma correlate.

Wholistic

Holistic



Fonte: Sahal (1985)

Figura 4: Pattern di cambiamento tecnologico

### 3.8. Misurazione del cambiamento tecnologico di prodotti eterogenei (Alexander e Mitchell, 1985; Triplett, 1985)

Alexander e Mitchell focalizzandosi sulla natura eterogenea dei prodotti, sostengono che la misurazione del cambiamento tecnologico deve prendere in considerazione diverse caratteristiche. La seguente definizione si focalizza sulla natura eterogenea dei prodotti: il cambiamento tecnologico di un prodotto, le cui caratteristiche e i prezzi cambiano nel tempo, è il cambiamento del totale dei fattori di inputs richiesti produrre un prodotto mentre si tengono le caratteristiche (output) costanti. Gli autori sviluppano una teoria dei progetti tecnologici e della produzione e forniscono un esplicito framework nel quale costruiscono misure empiriche del cambiamento tecnologico, indici dei prezzi edonici e relazioni stimate dei costi.

- ◆ Le misure del cambiamento tecnico di prodotti eterogenei con molte dimensioni di performance hanno spesso usato la variabile tempo come una proxy del livello di tecnologia. Questa variabile si ipotizza che aumenta nel tempo in modo monotono. La

variabile tempo è spesso relativa ad un insieme di caratteristiche di performance in un'equazione di regressione. Un campione di osservazione è quindi rappresentato dalle caratteristiche di performance di uno specifico modello del prodotto ad una data fissata:  $F(t)=F[P_1, \dots, P_m (p?)]$  misura il cambiamento tecnologico. In questa equazione  $t$ =tempo,  $P_1, \dots, P_m$  sono i valori delle caratteristiche di performance più importanti e  $p$ =prezzo del prodotto.

- ◆ L'equazione dell'indice dei prezzi edonici sono tipicamente usati per generare un indice dei prezzi nel tempo per prodotti eterogenei, mentre le performance sono tenute costanti. Si ha:  $p=F(P_1, \dots, P_m, t)$ . Frequentemente gli effetti del tempo sono rappresentati includendo un insieme di variabili dummy per separare periodi di tempo piuttosto che una singola variabile continua. I coefficienti sulle variabili dummy producono un indice dei prezzi per ogni periodo mentre le variabili di performance  $P_1, \dots, P_m$  sono tenute costanti.
- ◆ Relazione cost-estimating tenta di predire il costo di un prodotto sulla base della passata esperienza:  $C=F[P_1, \dots, P_m (t?)]$  dove  $C$  è il

costo medio. Una variabile tempo è qualche volta inclusa quando incrementa il potere di previsione dell'equazione. Questa relazione fu sviluppata durante la II guerra mondiale per aiutare la previsione dei costi degli aerei militari. Dopo la guerra, gli ingegneri trovarono che una simile relazione aiutava per un'ampia varietà di prodotti manifatturieri, dai frigoriferi, alle automobili e all'elettronica.

Secondo gli autori il cambiamento tecnologico di prodotti eterogenei può essere visto da due differenti prospettive: dal punto di vista dei produttori e degli utilizzatori. Queste due differenti prospettive possono essere modellizzate attraverso due sistemi di relazioni che trasformano gli input in output:

$$F(R_p, P, t) = 0 \text{ (producer transformation)} \quad [1]$$

$$G(R_u, U, t) = 0 \text{ (producer transformation)} \quad [2]$$

dove  $P$  e  $U$  sono i vettori delle variabili prodotto e uso;  $R_p$  un vettore di fattori di input (risorse) del prodotto del produttore;  $R_u$  è un vettore delle risorse consumate dall'utilizzatore del prodotto per produrre il vettore di output  $U$ . Il vettore  $R_u$  include come input, l'output del prodotto del produttore come pure addizionali input come ad esempio lavoro, materiali, ed energia.

Il cambiamento tecnologico sarà quindi  $-\frac{\partial R_p}{\partial t}$  nella equazione 1 e  $-\frac{\partial R_u}{\partial t}$  nella equazione 2, con  $p$  ed  $u$  costanti. Alternativamente il cambiamento tecnologico può essere definito come  $\frac{\partial P}{\partial t}$  e  $\frac{\partial U}{\partial t}$  nelle due equazioni, con il rispettivo vettore  $R$  costante.

Lo studio è applicato sulle milling machine e turbine engines e i risultati mostrano come nel caso di omissione di variabili non si producono adeguate misure della produttività, dei prezzi edonici o del cambiamento tecnologico.

Triplett (1985) partendo da alcune difficoltà di misurazione del cambiamento tecnico presenti in approcci precedenti, fornì un raffinamento del metodo integrando gli approcci ingegneristici alla misurazione del cambiamento tecnologico con un modello di produzione basato sulle caratteristiche spaziali. I risultati forniscono informazioni circa i prezzi della produzione o le superfici di costo per prodotti eterogenei. Il modello è applicato usando anche funzioni di prezzo edonici per misurare il cambiamento tecnologico.

### 3.9. Modello tecnometrico di Grupp e Hohmyer (1986)

Gli studiosi tedeschi del Dipartimento di analisi dei sistemi del *Fraunhofer Institute for systems and innovation research* iniziano dando un'estensione al concetto di technometrics considerandolo come una compilazione dei dati tecnologici dei prodotti nazionali e la loro comparazione internazionale. Poiché le imprese in una nazione hanno accesso allo stesso know-how e capitale umano, le disparità tecnologiche nazionali non sono un buon indicatore del funzionamento del sistema innovativo nazionale.

Gli indicatori tecnometrici sono numeri compositi aggregati di specificazioni in unità fisiche. Ad esempio in un semiconduttore laser le specificazioni tecnologiche sono di due tipi: a) product specification: ampiezza spettrale (unit nm), rapporto segnale/rumore (unit dB), etc, b) process specification: precisione del montaggio (unit  $\pm \mu\text{m}$ ), striatura (unit rel.), etc. Le specificazioni indicano lo stato dell'arte sia dei prodotti sia dei processi, formando distinte caratteristiche di prodotto e processi utili, ma non essenziali. Per ogni sistema, alcune specificazioni  $K(i,j)$  sono definite insieme con gli elementi della matrice funzionale  $F(i,j)$ . Il massimo valore della specificazione è  $f=1$ , il minimo valore è  $f=3$ . L'indice  $r$  denota le sottoclassi di tutte le specificazioni  $K$ , come ad esempio le specificazioni dei prodotti e dei processi. Il valore  $K$  può essere classificato ma non può essere aggregato cardinalmente come indicatore. Il punto di partenza del sistema della metrica è la massima specificazione nazionale  $K(i,j,k,f=1, r,t)$ : gli standard di imprese guida del sistema innovativo nazionale, sono essenziali per le comparazioni internazionali. La metrica è data dalla trasformazione di  $K(i,j,k,f=1, r,t)$  in un intervallo senza dimensione  $[0,1]$  attraverso:

$$K^*(i, j, k, r, t) = \frac{K(i, j, k, 1, r, t) - K(i, j, k, \min, 3, r, t)}{K(i, j, k, \max, 1, r, t) - K(i, j, k, \min, 3, r, t)}$$

con:

$K^*$  = il valore della specificazione della metrica;

$k_{\max}$  = il  $k$  affinché  $K(i,j,k,1,r,t)$  è massimo per  $i,j,t$  fissati;

$k_{\min}$  = il  $k$  affinché  $K(i,j,k,3,r,t)$  è minimo per  $i,j,t$  fissati.

Il valore massimo di  $K^*$  rappresenta, quindi, il più elevato standard tecnologico. Se la scala è inversa il minimo valore di  $K$  rappresenta il più elevato livello tecnologico.  $K^*=1$ , nella suddetta metrica, mostra gli standard tecnologici della impresa guida nel paese guida per ogni specificazione sotto considerazione. Il livello tecnico raggiunto in rapporto agli altri paesi è determinato dall'ampiezza dello scarto degli standard fra i differenti paesi. Se gli standard tecnologici offerti e richiesti dai mercati internazionali sono diffusi, allora le minori differenze fra le imprese guida nazionali non possono indicare un maggiore gap tecnologico. Il valore  $K^*$  sarà prossimo a 1 per tutti i paesi.

Grupp e Hohayender (1986) partendo da un campione di 43 prodotti selezionati, usando dati giapponesi che fornirono informazioni tecniche di beni high tech in Giappone, USA e alcuni paesi Europei, misero a punto il modello qualitativo tecnometrico per valutare gli standard tecnologici e le disparità, fornendo anche una misura cardinale sui differenti livelli di aggregazione. Il modello mostrò un vantaggio negli standard tecnologici di USA e Giappone anche se in Europa, la Germania aveva valori superiori alla media in alcune tecnologie chiave.

### 3.10. La misura della tecnologia per lo sviluppo nazionale di Sharif (1986)

Sharif (1986) descrive come molti paesi sviluppati ed emergenti hanno iniziato una sistematica raccolta di statistiche basate su "science indicators" come ad esempio: numero e distribuzione di scienziati nel paese, numero di studenti universitari a vari livelli e discipline, spese per l'università, ecc. In aggiunta alcuni paesi hanno anche iniziato la raccolta di statistiche basate su "technology indicators" che possono essere classificate in: a) indicatori di input (spese, personale); b) indicatori parziali (pubblicazioni e brevetti); c) indicatori intermedi (numero di innovazioni); d) indicatori di diffusione (quote di mercato); e) indicatori di trasferimento di moneta (pagamenti e royalties).

Questi indicatori non forniscono informazioni necessarie per la formulazione di politiche dell'innovazione e la pianificazione dello sviluppo dei paesi. Questi dati sono necessari per un budget nazionale e fornire incentivi per regolare

l'allocazione dei fondi nel settore privato. Inoltre essi non forniscono informazioni sui punti di forza e debolezza dei sistemi innovativi nazionale. In ogni modo molti paesi sono consapevoli che la tecnologia può essere usata come una variabile strategica per lo sviluppo nazionale. Come possono essere determinati i bisogni tecnologici nazionali? Come possono essere valutate le capacità tecnologiche nazionali? Sharif sostiene che la valutazione può essere svolta con riferimento a quattro tipologie di risorse tecnologiche: 1) risorse naturali (NR); 2) risorse prodotte (PR); 3) risorse umane (HR) e 4) risorse istituzionali (IR). Le prime due sono risorse physical-based, le ultime due people-base. La HR è divisa in sette categorie comprendenti 24 tipi di risorse umane. Se  $H_k$  si riferisce al numero di risorse umane del k-esimo tipo per (k: 1(1924) e se  $h_k$  è il fattore di valutazione qualitativo per ogni tipo di risorsa, allora l'attuale ammontare di ogni tipo di risorsa umana disponibile è  $h_k H_k$ . Così l'ammontare attuale di ogni tipo di risorsa umana disponibile per 1000 abitanti è dato da:

$$a_k = \frac{(h_k H_k)(1000)}{\text{population}}$$

Sia  $w_k$  = paese del mondo col più alto valore di  $a_k$

Sia  $c_k$  = il potenziale valore che un paese può aspettarsi di raggiungere

I pesi assegnati ad ogni tipo di risorsa devono essere tali che la somma è 1. Sulla base di questi valori si ha per ogni tipo di risorsa:

$$\text{Country effectiveness: } e_k^h = \frac{a_k^h}{c_k^h}$$

$$\text{World effectiveness: } r_k^h = \frac{a_k^h}{w_k^h}$$

Totale

$$\text{Country effectiveness: } E_k^h = \sum_k (\lambda_k e_k^h)$$

$$\text{World effectiveness: } R_k^h = \sum_k (\lambda_k r_k^h)$$

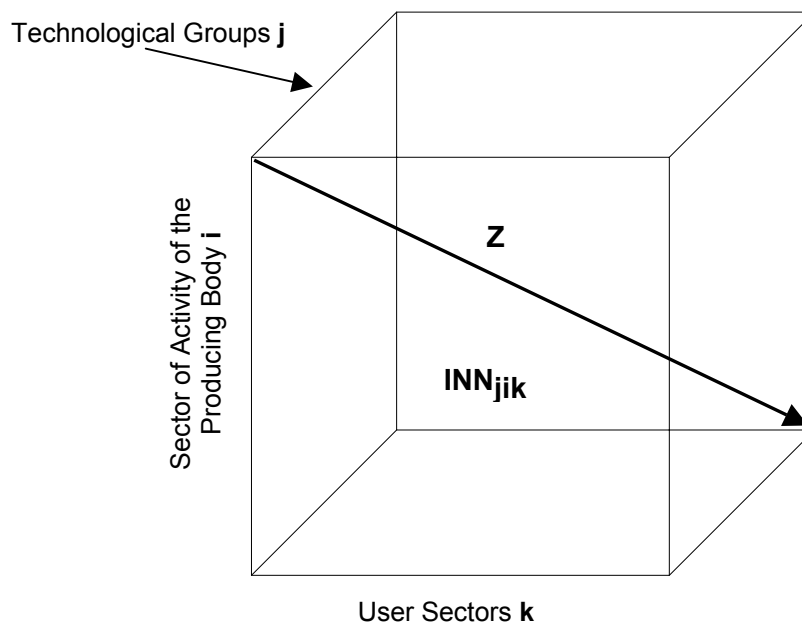
Il valore  $e_k^h$  racconterà come un paese sta sviluppando ogni tipo di risorsa e la massimizzazione del valore  $e_k^h$  che può prendere sarà 1. Analogamente il valore  $r_k^h$  indicherà ad un paese il rango internazionale rispetto a quel tipo di risorsa umana. Anche qui il valore massimo sarà 1. Le lettere minuscole si riferiscono ad ogni tipo di

risorsa umana, i valori miscolati al totale del livello di sviluppo delle risorse di un paese a livello nazionale ed internazionale. Analogamente si può fare per IR, NE e PR. Dopo è necessario procedere per determinare: a) il potenziale delle risorse naturali; b) la maturità delle risorse istituzionali; c) il contenuto tecnologico delle risorse prodotte; d) la struttura di abilità delle risorse umane. Il presente framework di valutazione dei bisogni e capacità tecnologiche nazionali, all'interno del sistema innovativo nazionale, permette al decision-maker di usare la tecnologia come variabile strategica nello sviluppo socio-economico.

### 3.11. Il contributo di Archibugi (1988)

Molti studi dedicati al cambiamento tecnologico si sono concentrati nel campo della misurazione e classificazione dell'innovazione ed uno dei più importanti contributi è stato svolto presso lo Science Policy Research Unit (SPRU) dell'Università di Sussex da Archibugi (1988). L'autore introduce una distinzione fondamentale tra oggetti e soggetti dell'innovazione (Archibugi e Simonetti, 1998; Archibugi e Santarelli, 1989) e sulla base di ciò fa una comparazione dei due approcci enfatizzando alternativamente le caratteristiche evolutive e rivoluzionarie del cambiamento tecnologico. Le innovazioni erano classificate in base a tre criteri differenti: 1) il

gruppo tecnologico di appartenenza dell'innovazione (chimica, elettronica, farmacia, ecc.); 2) il settore di attività dell'ente di produzione; 3) il settore di utilizzazione dell'innovazione. Per alcune innovazioni i tre tipi di classificazione coincidono, ad esempio un processo chimico creato da un'impresa chimica; in altri casi i tre codici sono diversi: ad esempio una macchina per il caffè. Quando si individua un'innovazione non è difficile identificare il contenuto tecnologico, l'organizzazione che l'ha promossa e in quale prodotto sarà utilizzata. Sulla base dei tre criteri suddetti Archibugi (1988) propose una griglia classificatoria riportando sull'asse  $j$  ( $j = 1, \dots, n$ ) il gruppo tecnologico di appartenenza,  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) l'attività dell'organizzazione che l'ha prodotta e  $k$  ( $k = 1, \dots, n$ ) il settore di prima utilizzazione di un'innovazione. In questo modo si ha una classificazione omogenea delle tre caratteristiche dell'innovazione (figura 5). Questa classificazione è rappresentata con un quadro di riferimento simile ad un cubo nel quale sono inserite tutte le innovazioni. Il cubo può a sua volta essere scomposto in tre matrici quadrate e questo porta ad uno schema concettuale che semplifica l'interpretazione teorica delle interdipendenze settoriali rilevanti ai fini dell'analisi dei processi innovativi.



**Figura 5:** Classificazione dell'innovazione secondo i tre criteri (Archibugi, 1988)

### 3.12. La misura del progresso tecnico di Ayres (1998)

Secondo Ayres (1998) un progresso tecnologico può essere quantificato con una buona attendibilità sulla base di dati storici. La misura proposta è l'efficienza con cui le risorse (energetiche) sono convertite in servizi finali. Egli parte dalla considerazione che l'economia attuale, ad un dato istante di tempo, è la combinazione lineare di due casi limite caratterizzati rispettivamente da un lontano passato ed un lontano futuro. I due casi limite corrispondono ad una "economia cowboy" (preistorica) e una "economia spaceship" (ad esempio stazione spaziale). È ragionevole ritenere i due convenzionali fattori di produzione Capitale e Lavoro nel caso della prima economia utilizzando una semplice funzione Cobb-Dougllass come fece Solow. In questo modello si può includere un terzo fattore come l'energia (E) in modo da renderlo più appropriato. I fattori della seconda economia (spaceship) sono due o tre fattori di produzione, probabilmente differenti dai precedenti. Le variabili indipendenti potrebbero essere un capitale "man made K", un capitale conoscenza o informazione H, un input di risorsa rinnovabile R. Il fattore lavoro, nel senso tradizionale, è improbabile che sia un fattore di produzione nella terra spaceship.

L'economia reale è una combinazione della prima (cowboy) e seconda economia. La generalizzazione della funzione di produzione potrebbe essere ridotta a un caso limite cowboy (e.g. 1800 A.D) e spaceship (e.g. 2200 AD). Si avrebbe una combinazione lineare del tipo:

$$F = (1-A)F^1 + A F^2 \quad 0 < A < 1$$

dove F è l'output e  $A(z)$  una funzione monotona crescente di un argomento  $z$  che si dirà fra poco. Le funzioni  $F^1$  e  $F^2$  possono essere Cobb-Dougllass, CES, funzioni trans-log, etc. La forma geometrica di  $A(z)$  deve essere chiaramente una S. Se l'argomento  $z(t)$  è monotono crescente, è sempre minore dell'unità, allora la più semplice forma di  $A(z)$  è la seguente:

$$A(z) = z^n$$

Dove l'esponente  $n$  è scelto da una stima econometrica. La migliore procedura sarà di selezionare il valore di  $n$  che meglio spiega i recenti tassi di crescita. Una proxy dello stato della tecnologia  $z$  sono le spese di R&S o di formazione

universitaria. Queste sono tra le possibili misure di investimento della conoscenza, ma non aiutano nella stima dello stock di conoscenza. Lo stato della tecnologia si può misurare anche col numero dei brevetti e/o di articoli tecnici pubblicati. Ayres considerò come una buona proxy dello stato di tecnologia  $z(t)$ , ad un dato tempo, l'efficienza con cui la "materia prima "exergy"<sup>2</sup> da sorgente inanimata è convertita in servizi finali. La variabile  $z(t)$  può essere ulteriormente decomposta in un prodotto di due rapporti:

$$z = uv$$

Il primo fattore  $u$  è la exergia erogata a efficienza. Questo è il rapporto di erogata exergia – significa potenza elettrica, spazio calore, o lavoro meccanico erogato a un albero motore- e exergia incorporata in carburante o input di energia idraulica. Il secondo termine  $v$  è il servizio erogato a efficienza. È il rapporto fra l'output di servizio finale e exergia erogata o input di lavoro. Il primo rapporto può essere stimato con una buona accuratezza attraverso l'estrapolazione di statistiche sull'energia disponibile e analisi tecniche. Il secondo termine coinvolge stime più

<sup>2</sup> Le misure fisiche di energia e materiali introducono difficoltà sia concettuali che pratiche. Il termine energia è usato in modo non corretto in molti studi economici. La massa fisica è piena di significato per i calcoli ingegneristici ma è una misura senza significato gli input di risorse materiali eterogenee. Per questa ragione gli economisti hanno usato misure monetarie. Ma comparare un settore o prodotto o risorse con un'altra, in questa maniera è molto difficoltoso. La massa è definibile per tutti i materiali, quindi input ed output di massa sono definibili per tutti i settori, ma le relazioni tra aggregati input di masse e output monetari non possono essere comparati, sia tra settori sia da un periodo all'altro. Il termine energia è usato in modo non corretto da molte persone, anche se il problema è solo di terminologia. Ciò che è misurato in pratica ed etichettato è il potenziale calore di combustione di un carburante, mentre dal lato dell'output la misura usuale è il lavoro meccanico o potenza consegnata nel tempo. La potenza elettrica è vista come un puro lavoro (essa si può convertire in lavoro al 100%). Per il gusto di una precisione concettuale esso dovrebbe essere rimpiazzato col termine exergia, che si riferisce alla parte di flusso di energia che è disponibile a fare un lavoro utile e che può essere consumato in un processo economico come il lavoro e rende l'energia meno disponibile. Se l'energia diventa non disponibile, essa genera entropia che è misurata in unità di energia divisa con le temperature (un processo economico genera entropia). La più importante differenza tra energia ed exergia è che quest'ultima non è una quantità conservata. Exergia è misurabile. Applicato al carburante di idrocarbon fossile secco, l'exergia è approssimativamente uguale allo standard di calore di combustione poiché la combustione genera piuttosto elevate temperature (sui 15000°C).

qualitative. Entrambi possono essere stimati a livello settoriale. La variabile  $z$  è la misura della produttività delle risorse: l'efficienza di conversione dell'input di exergia grezza in output di servizi finali dipende, ovviamente dalle capacità tecnologiche in ogni campo di attività virtuale, da scienza materiale e metallurgia a ingegneria elettrica ed elettronica.

$Z$  riflette il progresso in tecnologia dei processi di materiali e manufacturing considerando un materiale finito (plastica) prodotto più efficacemente da materie prime. Nel calcolo della totale efficienza tecnica, si deve quindi aggregare nel tempo le differenti sorgenti di exergia e la conversione dei percorsi in servizi finali. Il primo passo è la stima del consumo storico di exergia. Una forma funzionale per  $z$  può essere derivata dall'equazione differenziale di generalizzazione del processo di diffusione di Mahajan-Schoeman:

$$\dot{z} = a(1-z) + b(1-z)z \text{ la cui soluzione è}$$

$$\ln\left(\frac{1-z}{a+bz}\right) = -(a+b)(c+t)$$

con punto di flesso

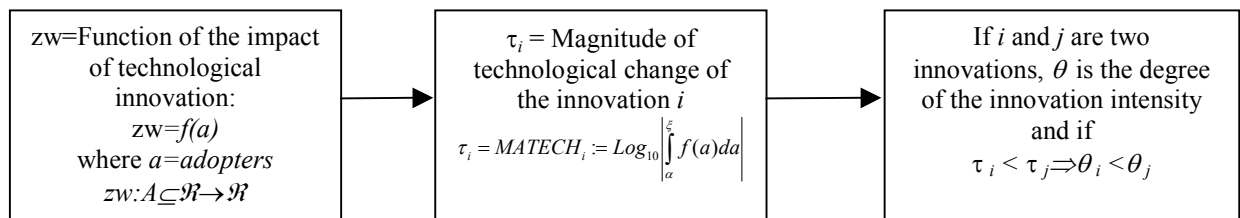
$$z_{in} = \frac{b-a}{2b} \text{ che può essere risolta per } a \text{ o } b \text{ quando}$$

conosciamo  $z_{in}$ .

Ayres decompone l'effetto in: efficienza termodinamica di conversione della sorgente energia in lavoro meccanico (stimata a livello settoriale) e efficienza con il quale l'energia meccanica è usata per produrre i servizi finali (stimata solo in alcuni casi, come nel trasporto ed illuminazione). Egli sostiene che sarebbe meglio costruire una funzione di produzione economica che stimi il cambiamento tecnologico piuttosto che trattare il progresso tecnico come un residuo non spiegato (Solow, 1956; 1957).

### 3.13. L'approccio sismico alla misurazione del cambiamento tecnologico (Coccia, 2004)

Questo approccio alla misurazione del cambiamento tecnologico denominato sismico, mira alla costruzione di una scala di valutazione del cambiamento tecnologico, detta SIIN, simile a quella usata in sismologia del sismologo Mercalli (1883) che valuta l'intensità dei terremoti descrivendo gli effetti sul paesaggio geoeconomico. Secondo l'approccio sismico (Coccia, 2004) alla misurazione del cambiamento tecnologico nel paesaggio economico si diffondono delle onde, dette di impatto innovativo, che modificano l'ambiente con una serie di effetti sia sulle infrastrutture (oggetti), sia sul comportamento degli adopters (soggetti). Questa metrica che valuta l'impatto economico e sociale dell'innovazione tecnologica cerca di stimarne l'intensità nello spazio e nel tempo, poiché gli effetti del cambiamento tecnologico variano a seconda l'ambito spaziale in cui l'innovazione si propaga e del punto in cui si colloca nel suo ciclo evolutivo. L'aumento dell'intensità innovativa, indica un maggior numero di adopters con una serie di mutazioni crescenti nell'ambiente geoeconomico, anche in termini di incremento del benessere. L'indicatore che misura questa forza è la magnitudo del cambiamento tecnologico, indicatore simile a quello usato in sismologia da Richter per misurare l'energia scaricata dai terremoti nell'ambiente. La misura dell'intensità dell'innovazione tecnologica come funzione crescente del numero di adopters ( $a$ ) e del benessere sociale/utilità ( $w$ ), mostra quali effetti provoca la propagazione delle onde innovative nell'ambiente (Figura 6).



**Figura 6:** Passi logici per misurare l'intensità del cambiamento tecnologico secondo l'approccio sismico

In altri termini, passando da un'innovazione di I grado di intensità, ad una di VII, aumentano sia i fruitori (consumatori, imprese, istituzioni), sia i cambiamenti ambientali (settori, mercati, dinamiche industriali, competizione e benessere). L'intensità del VII grado è riservata solo a quelle

innovazioni che cambiano le vie di comunicazione umana ed hanno una diffusione di massa, mentre le biotecnologie e i nuovi materiali si preferisce collocarli al VI e non VII grado di intensità, a differenza di quanto sostenuto da qualche autore (Tidd *et al.*, 2001).

**Tabella 3:** Scala dell'intensità innovativa

CAMBIAMENTO TECNOLOGICO			
Grado dell'innovazione		Livello	Intensità
1 <sup>a</sup> Fascia	I = 1°	Basso	Leggerissima
	II = 2°		Leggera
	III = 3°		Modesta
2 <sup>a</sup> Fascia	IV = 4°	Medio	Discreta
	V = 5°		Forte
3 <sup>a</sup> Fascia	VI = 6°	Alto	Fortissima
	VII = 7°		Rivoluzionaria

L'approccio sismico, parte dalla considerazione che nell'ambiente economico si propagano delle onde innovative che provocano una serie di cambiamenti e quanto più interessano le persone ed incrementano l'utilità individuale e sociale tanto più alta è la loro intensità e quindi la posizione nella scala (Tabella 3).

Nell'ambito della struttura teorica dell'approccio sismico si possono trovare alcune logiche degli approcci utilizzati in letteratura per la misurazione del cambiamento tecnologico. Innanzitutto l'approccio sismico usa sia un punto di vista macro, sia micro. È un approccio che si focalizza sugli oggetti e soggetti (Archibugi, 1988), valutando come l'innovazione abbia un impatto economico-sociale. L'edonismo dell'approccio sismico, non è nel senso di Court, Stone e Lancaster, ma nel senso che l'innovazione aumenta il piacere umano, incrementando il benessere sia individuale sia sociale (basti pensare ai benefici di una medicina). Come nell'approccio di Dodson, il cambiamento tecnologico si sviluppa con delle superfici che sono piani in uno spazio bidimensionale o iperpiani in uno ad  $n$ -dimensioni ma a differenza di questo valuta l'impatto economico dell'innovazione tecnologica

calcolando il volume sottostante a queste superfici. L'approccio funzionale di Majer (1985), come pure altri approcci, considerava alcuni attributi della tecnologia che sono indicatori di performance. L'approccio euristico (Lenz, 1985) riteneva che bisognava selezionare i singoli parametri che sono gli indicatori di performance delle tecnologie. Qui si considerano come indicatori non quelli endogeni alla tecnologia, ma quelli esogeni alla stessa: l'innovazione tecnologica quali attività umane riesce a migliorare? Ad esempio il trattore agricolo aumenta la produttività per ettaro, riduce le ore di lavoro, migliora la qualità del prodotto su cui è applicato e così via. L'approccio strutturale di Knight (1963) è rinvenibile quanto si confrontano due strutture di performance (es. produttività per ettaro) pre e post-innovazione. La differenza fra queste due strutture determinerà anche il grado nella scala SIIN. Si è visto che un'innovazione di grado elevato ha una struttura di performance (incremento di produttività), maggiore di quella del grado inferiore.

Discussione sui limiti e potenzialità degli approcci di Technometrics.

La misurazione del cambiamento tecnologico,



come pure la sua comprensione, rimane per gli studiosi uno dei problemi più difficili da analizzare per le molte variabili in gioco. In ogni caso non si può iniziare a prendere decisioni sulla tecnologia se non la si comprende. E non si può iniziare a comprenderla veramente fino a quando non la si misura (Souder and Shrivastava, 1985). Sahal sosteneva che *“the problem of measuring quality change boils down to measuring technological change, since improvement in the quality of economic goods is in turn due to advances in technology. Thus technological measures have an important role to play in a wide variety of economic investigations and attendant efforts towards policy formulation. In a nutshell, we need unequivocal ways of measuring technology so as to create public awareness of innovations and to ensure consumer sovereignty (Sahal, 1985: 6-7)”*. Gli approcci descritti mostrano alcuni comuni denominatori:

- ◆ la tecnologia ed il cambiamento tecnologico è una funzione multidimensionale per via delle innumerevoli variabili che la caratterizzano;
- ◆ le variabili che misurano le performance dell'innovazione tecnologica possono essere endogene all'innovazione (ad esempio miglioramento del consumo del carburante, maggiore durata a costi ridotti, etc.) o esogene; in quest'ultimo caso influenzano variabili macroeconomiche e sociali, come ad esempio riduzione della disoccupazione, miglioramento del benessere, etc.;
- ◆ l'evoluzione della tecnologia e del cambiamento tecnologico è vista come una superficie in uno spazio a due o  $n$  dimensioni sulla quale gli studiosi hanno applicato diverse tecniche statistiche o matematiche per misurare la sua intensità. Sahal rappresentava il SOA con montagne di probabilità che emergevano su un piano e la magnitudo era data dall'altezza. La magnitudo dell'approccio sismico è, invece, data dall'area sottostante la superficie della funzione dell'impatto innovativo che hanno una struttura differente dalle montagne di isoprobabilità di Sahal, come sono diverse dalle superfici della SOA dell'approccio Rand, essendo diverse le variabili che le hanno originate.

Nonostante i progressi raggiunti e alcuni

approcci risultano molto promettenti emergono tutte le difficoltà legate alla complessa misurazione della tecnologia.

Sahal (1985) evidenziava alcuni limiti dell'approccio edonico, come quello che la tecnica lavora bene solo quando ci sono distinte tecnologie di prodotto e delle chiare caratteristiche di prodotto, e non lavora bene in presenza di innovazioni di processo e soprattutto quando il prezzo non si forma in un mercato concorrenziale. Inoltre l'approccio edonico non consente confronti internazionali a causa delle significative differenze nei prezzi dei fattori fra i differenti paesi. Mentre la tecnica Rand di Dodson usa il solo tempo cronologico come misura del progresso tecnico e questo può portare alla conclusione che l'Europa del periodo del Medioevo era più avanti di quella della Grecia di Archimede nel 212 avanti Cristo (Sahal, 1985). I miglioramenti alla tecnica di Martino sono stati notevoli ma secondo Sharif (1986) la procedura è ancora troppo difficile. Knight (1963) notava come il completo uso della sua tecnica funzionale e strutturale per isolare e descrivere semplici miglioramenti nelle tecnologie e nel loro valore ha trovato un uso limitato. L'approccio di Majer (1985) è un metodo ragionevole per la misurazione della tecnologia; è un approccio molto pragmatico ma il principale problema che presenta è l'esistenza di un'organizzazione e/o di un consiglio di esperti e di una base metodologica stabile di valutazione. L'approccio di Lenz, invece, dovrebbe dare più considerazione alle relazioni di base, più attenzione al grado con cui i parametri misurano la loro utilità e assicurano una comprensione base della tecnologia, questo prima che la misura sia iniziata.

La letteratura ci insegna che i pattern dell'innovazione sono a forma di S e una metrica dell'innovazione tecnologica per quanto corretta possa essere non può collocarsi all'inizio della sua evoluzione, poiché alcune ricerche hanno mostrato come alcune innovazioni tecnologiche per quanto superiori possono essere soggette all'effetto di lock-in a vantaggio di innovazioni inferiori che utilizzano la loro path-dependency. Un interessante esempio è documentato da David (1985; 1993) nel suo studio sulla diffusione

della tastiera QWERTY che vide la luce agli albori dell'industria delle macchine per scrivere, sui modelli Remington. Quando altre macchine si resero disponibili, quelle con tastiere QWERTY risultavano essere avvantaggiate a seguito della compatibilità con la capacità di battitura rapida delle dattilografie professioniste. I cosiddetti rendimenti crescenti di adozione diedero luogo a fallimenti di mercato di tecnologie superiori (tastiere più ergonomiche), favorendo la diffusione delle tecnologie inferiori. La sequenza iniziale di eventi di portata di per sé limitata, ma determinanti per via dei feedback positivi (*path dependency*), blocca (lock in) il sistema all'alternativa inferiore (Arthur, 1989). Un altro interessante esempio è la diffusione dei sistemi operativi MS-DOS e del suo discendente Windows (Malerba, 2001). Questo è il problema in cui si possono trovare alcuni approcci descritti, qualora si pongono in un'ottica di misurazione ex-ante.

L'ultimo approccio descritto, quello sismico, valuta l'impatto dell'innovazione tecnologica nel sistema economico, ex-post, ma la magnitudo dell'intensità innovativa costruita è chiaramente una semplificazione, poiché nella realtà è più corretto scrivere una funzione dell'impatto innovativo e diffusivo come una  $f: \mathfrak{R}^n \rightarrow \mathfrak{R}^n$ .

Alla fine di questa panoramica storica non si può dire che un metodo sia migliore dell'altro, poiché ciascuno ha cercato di evidenziare alcune caratteristiche e/o variabili endogene o esogene del pattern dell'innovazione tecnologica. I metodi più promettenti e con più potenzialità sembrano essere quelli orientati a rappresentare l'evoluzione del cambiamento tecnologico con delle superfici e a misurare l'intensità con differenti approcci matematici e/o statistici. Chiaramente la complessità della tecnologia porta a rappresentare la superficie solo con alcune variabili della tecnologia. Comunque i metodi esposti al fine di una corretta previsione tecnologica devono essere visti come complementari l'uno con l'altro e non come sostituti. In ogni modo la strada da percorrere per costruire un approccio esaustivo o completo è ardua e lunga, poiché l'analisi e misurazione della funzione multidimensionale del cambiamento tecnologico è difficilmente riconducibile ad una sola disciplina, ma le difficoltà sono delle sfide da vincere.

## Bibliografia

- Alexander A.J., Mitchell B.M. (1985) "Measuring Technological Change of Heterogeneous Products", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 27, pp. 161-195.
- Alexander A.J., Nelson J.R. (1973) "Measuring Technological Change: Aircraft Turbine Engines", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 5, pp. 189-203.
- Archibugi D. (1988) "In Search of a Useful Measure of Technological Innovation (to Make Economists Happy without Discontenting Technologists)", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 34, pp. 253-277.
- Archibugi D., Santarelli E. (1989) *Cambiamento tecnologico e sviluppo industriale* (a cura di), Franco Angeli, Milano.
- Archibugi D., Simonetti R. (1998) "Objects and Subjects in Technological Interdependence. Towards a Framework to Monitor Innovation", *International Journal of the Economics of Business*, vol. 5, n. 3, pp. 295-309.
- Arthur W. B. (1989) "Competing technologies, increasing returns and lock-in by historical events", *Economic Journal*, n.99, pp. 116-46
- Atkinson A.B., Stiglitz J.E. (1969) "A new view of technological change", *Economic Journal*, n. 79, pp. 573-578.
- Ayres R.U. (1985) "Empirical Measures of Technological Change at the Sectoral Level", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 27, pp. 229-247.
- Ayres R.U. (1998) "Technological Progress: A Proposed Measure", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 59, pp. 213-233.
- Babbage C. (1832) *On the economy of machinery and manufactures*, C. Knight, London.
- Bacon F. (1629) *The great instauration and New Atlantis*, in Weinberger J. (ed.) "Science and rule in Bacon's utopia: an introduction to the reading of the New Atlantis American Political Science Review" (1976), vol. LXX, n. 3, 7, pp.865-885.
- Barnett A., Kleitman D.J., Rosenbaum D., Singer B. (1978) "A statistical procedure for testing nuclear powered cardiz pacemakers", *Technometrics*, vol. 20, n. 3, pp. 221- 226.

- Brewer A. (1998) "Invention" in Hamouda O. F., C. Lee, D. Mair (eds.), *The economics of John Rae*, Routledge.
- Burks A., Goldstine H.H., von Neumann J. (1946) *Preliminary discussion of the logical design of an electronic computing instruments*, Princeton.
- Chenery H.B. (1949) "Engineering Production Functions", *Quarterly Journal of Economics* n. 63, pp. 507-53.
- Coccia M. (2004) "Measuring Intensity of Technological Change: The Seismic Approach", *Technological Forecasting and Social Change*, Elsevier, forthcoming
- Coccia M. (2004a) "Le origini dell'economia dell'innovazione: il contributo di Rae", *Working Paper Ceris-CNR*, anno 5, n. 1.
- Court A.T. (1939) "Hedonic price indexes with automotive examples" in *The Dynamics of Automobile Demand*, pp. 99-117, General Motors Corporation, New York.
- David P. (1985) "Clio and the economics of the QWERTY", *American Economic Review*, n.75, pp.332-337.
- David P.A. (1993) "Path-dependence and predictability in dynamic systems with local network externalities: a paradigm for historic economics", in D. Foray e C. Freeman (a cura di), *Technology and the wealth of nations*, London, Pinter.
- Dodson E. N. (1970; 1985 ristampa) "Measurement of State of the Art and Technological Advance", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 27, pp. 129-146.
- Fisher J. C., Pry R.H. (1971) "A Simple Substitution Model of Technological Change", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 3, pp.75-88.
- Gotway C. A. (1994) "The use of conditional simulation in nuclear-waste-site performance assessment", *Technometrics*, vol. 36, n. 2, pp. 129-139.
- Grandstrand O. (1994) *Economics of technology*, North-Holland.
- Griliches Z. (1957) "Hybridcorn: An Exploration in the Economics of Technological Change", *Econometrica* XXV, pp. 501-22.
- Griliches Z. (1971) *Price Indices and Quality Change*, Harvard University Press, Cambridge.
- Grupp H., Hohmeyer O. (1986) "A Technometric Model for the Assessment of Technological Standards and Their Application to Selected Technology-Intensive Products", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 30, pp. 123-137.
- Hunter J. S. (1983) "The birth of a journal", *Technometrics*, vol. 25, pp.3-7.
- Hunter J. S. (2000) "Foreword: the enduring tradition of technometrics", *Technometrics*, vol. 42, n. 1, p. 1.
- Joiner B. L. (1977) "Evaluation of cryogenic flow meters: an example in non-standard experimental design and analysis", *Technometrics*, vol. 19, n. 4.
- Kafadar K. (1994) "An application of nonlinear regression in research and development: a case study from the electronics industry", *Technometrics*, vol. 36, n. 3, pp. 237-247.
- Kafadar K. (2000) "Forty years of technometrics: past, present, and future", *Technometrics*, vol. 42, n. 1, pp. 2-4.
- Knight K.E. (1963; 1985 ristampa) "A Functional and Structural Measurement of Technology", in *Technological Forecasting and Social Change*, n. 27, pp. 107-127.
- Lancaster K. (1966) "A New Approach to Consumer Theory", *Journal of Political Economy*, n. 74, pp. 132-157.
- Lenz R. C. (1985) "A Heuristic Approach to Technology Measurement", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 27, pp. 249-264.
- Majer H. (1985) "Technology Measurement: The Functional Approach", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 27, pp. 335-351.
- Malerba F. (2001) *Economia dell'innovazione*, Carocci editore.
- Marshall A. (1890) *Principles of Economics*, Macmillan and Co., New York.
- Martino J. P. (1985) "Measurement of Technology Using Trade-off Surfaces", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 27, pp. 147-160.
- Marx K. (1890) *Complete works*, vol. 3, *Capital*, translated from the 3<sup>rd</sup> edition of *DA Kapital* edited by Friederich Engels, Moscow: Foreign languages Publishing House.
- Marx K. (1975) "Section I-The development of machinery" from Chapter XV, "Machinery and modern industry" in *Capital. Volume I*, in Karl Marx and Frederick Engels, Collected

- Works, Volume 35, pp. 374-89, Lawrence and Wishart, London.
- Mercalli G. (1883) *Vulcani e Fenomeni Vulcanici in Italia*, (ristampa anastatica, Sala Bolognese 1981, Milano).
- Mill J. S. (1848) *The principles of political Economy: with some of their applications to social philosophy*, (trad. it.) *Principi di economia politica con alcune delle sue applicazioni alla filosofia sociale* (1851), Utet, Torino.
- Olin B. D., Meeker W. Q. (1996) "Applications of statistical methods to nondestructive evaluation", *Technometrics*, vol. 38. n. 2, pp. 95-130.
- Pearl D.J., Enos J.L. (1975) "Engineering Production Function and Technological Progress", *Journal of Industrial Economics*, n. 24, pp. 55-72.
- Rae J. (1834) *Statement of Some New Principles on the Subject of Political Economy, Exposing the Fallacies of the System of Free Trade, And of some other Doctrines maintained in the "Wealth of Nations"*, Boston: Hilliard, Gray. Reprinted (1964), New York: Kelley; and (1965), in R. W. James (ed.), *John Rae, Political Economist*, vol. 2, Aylesbury, Toronto: University of Toronto Press. (trad.it. 1856) F. Ferrara (ed.) *Dimostrazione di taluni principi sull'ECONOMIA POLITICA dimostranti gli errori del sistema di commercio libero, e di altre dottrine contenute nella RICCHEZZA DELLE NAZIONI*, Biblioteca dell'economista, Prima serie. Trattati complessivi. Vol. XI. Torrens, Bailey, Whatley, Ricardo, Rae. Utet, Torino.
- Reeve E. C. R., Huxley J. S. (1945) "Some Problems in the Study of Allometric Growth", *Essay on Growth and Form*, Oxford Press.
- Ricardo D. (1817) *Principles of Political Economy and Taxation*, traduz. it. "Sui principi dell'economia politica e della tassazione" (1976), Isedi, Milano.
- Sahal D. (1981) *Patterns of technological innovation*, Addison-Wesley, Reading, Mass.
- Sahal D. (1985) "Foundations of Technometrics", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 27, pp. 1-37.
- Saviotti P. (1985) "An Approach to the Measurement of Technology Based on the Hendonic Price Method and Related Methods", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 27, pp. 309-334.
- Schumpeter J. (1911) *The Theory of Economic Development*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Schumpeter J.A. (1939) *Business Cycles: A theoretical, historical and statistical analysis of the Capitalist process*, McGraw-Hill, New York.
- Schumpeter J.A. (1942) *Capitalism, Socialism and Democracy*, (ed.1976) London, Allen and Unwin.
- Sharif N.N. (1986) "Measurement of Technology for National Development", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 29, pp. 119-172.
- Smith A. (1776) "Of the division of labour" in *An Inquiry into the Nature and the Causes of the Wealth of the Nations*, Book I, Chapter I, pp.5-14, London. (trad. it.) *La ricchezza delle nazioni* (1975), Utet, Torino.
- Solow R.M. (1956) "A contribution to the theory of economic growth", *Quarterly Journal of Economics*, n. 70, pp. 65-94.
- Solow R.M. (1957) "Technical change and the aggregate production function", *Review of Economics and Statistics*, n. 39, pp. 312-320.
- Souder W. E., Shrivastava P. (1985) "Towards a scale for measuring technology in new product innovation", *Research Policy*, n. 14, pp. 151-160.
- Stewart F. (1977) *Technology and Underdevelopment*, Mac Millan, London.
- Stone R. (1956) *Quantity and Price Indexes in National Accounts*, OECD, Paris.
- Tidd J., Bessant J., Pavitt K. (2001) *Managing Innovation. Integrating technological, Market and Organizational Change*, John Wiley & Sons, New York.
- Triplett J.E. (1985) "Measuring Technological Change with Characteristics-Space Techniques", *Technological Forecasting and Social Change*, n. 27, pp. 283-307.
- Veblen T. (1899) *The Theory of the Leisure Class: an economic study of institutions*, (trad. it.), *La teoria della classe agiata* (1971), Einaudi, Torino.
- Veblen T. (1904) *Theory of Business Enterprise*, (trad. it.), *La teoria dell'impresa* (1970), Angeli, Milano.
- Wimmer F. (1975) *Das Quantitätsurteil des Konsumenten. Theoretische Grundlagen und empirische Ergebnisse*, Bern and Frankfurt Main.

## WORKING PAPER SERIES (2004-1993)

### 2004

- 1/04 *Le origini dell'economia dell'innovazione: il contributo di Rae*, by Mario Coccia
- 2/04 *Liberalizzazione e integrazione verticale delle utility elettriche: evidenza empirica da un campione italiano di imprese pubbliche locali*, by Massimiliano Piacenza and Elena Beccio
- 3/04 *Uno studio sull'innovazione nell'industria chimica*, by Anna Ceci, Mario De Marchi, Maurizio Rocchi
- 4/04 *Labour market rigidity and firms' R&D strategies*, by Mario De Marchi and Maurizio Rocchi
- 5/04 *Analisi della tecnologia e approcci alla sua misurazione*, by Mario Coccia
- 6/04 *Analisi delle strutture pubbliche di ricerca scientifica: tassonomia e comportamento strategico*, by Mario Coccia
- 7/04 *Ricerca teorica vs. ricerca applicata. Un'analisi relativa al Cnr*, by Mario Coccia and Secondo Rolfo
- 8/04 *Considerazioni teoriche sulla diffusione delle innovazioni nei distretti industriali: il caso delle ICT*, by Arianna Miglietta
- 9/04 *Le politiche industriali regionali nel Regno Unito*, by Elisa Salvador
- 10/04 *Going public to grow? Evidence from a panel of Italian firms*, by Robert E. Carpenter and L. Rondi
- 11/04 *What Drives Market Prices in the Wine Industry? Estimation of a Hedonic Model for Italian Premium Wine*, by Luigi Benfratello, Massimiliano Piacenza and Stefano Sacchetto
- 12/04 *Brief notes on the policies for science-based firms*, by Mario De Marchi, Maurizio Rocchi
- 13/04 *Countrymetrics e valutazione della performance economica dei paesi: un approccio sistematico*, by Mario Coccia
- 14/04 *Analisi del rischio paese e sistemazione tassonomica*, by Mario Coccia
- 15/04 *Organizing the Offices for Technology Transfer*, by Chiara Franzoni
- 16/04 *Le relazioni tra ricerca pubblica e industria in Italia*, by Secondo Rolfo
- 17/04 *Modelli di analisi e previsione del rischio di insolvenza: una prospettiva delle metodologie applicate*, by Nadia D'Annunzio e Greta Falavigna
- 18/04 *SERIE SPECIALE: Lo stato di salute del sistema industriale piemontese: analisi economico-finanziaria delle imprese piemontesi*, Terzo Rapporto 1999-2002, by Giuseppe Calabrese, Fabrizio Erbetta, Federico Bruno Rolle
- 19/04 *SERIE SPECIALE: Osservatorio sulla dinamica economico-finanziaria delle imprese della filiera del tessile e dell'abbigliamento in Piemonte*, Primo rapporto 1999-2002, by Giuseppe Calabrese, Fabrizio Erbetta, Federico Bruno Rolle
- 20/04 *SERIE SPECIALE: Osservatorio sulla dinamica economico-finanziaria delle imprese della filiera dell'auto in Piemonte*, Secondo Rapporto 1999-2002, by Giuseppe Calabrese, Fabrizio Erbetta, Federico Bruno Rolle

### 2003

- 1/03 *Models for Measuring the Research Performance and Management of the Public Labs*, by Mario Coccia, March
- 2/03 *An Approach to the Measurement of Technological Change Based on the Intensity of Innovation*, by Mario Coccia, April
- 3/03 *Verso una patente europea dell'informazione: il progetto EnILL*, by Carla Basili, June
- 4/03 *Scala della magnitudo innovativa per misurare l'attrazione spaziale del trasferimento tecnologico*, by Mario Coccia, June
- 5/03 *Mappe cognitive per analizzare i processi di creazione e diffusione della conoscenza negli Istituti di ricerca*, by Emanuele Cadario, July
- 6/03 *Il servizio postale: caratteristiche di mercato e possibilità di liberalizzazione*, by Daniela Boetti, July
- 7/03 *Donne-scienza-tecnologia: analisi di un caso di studio*, by Anita Calcatelli, Mario Coccia, Katia Ferraris and Ivana Tagliafico, July
- 8/03 *SERIE SPECIALE. OSSERVATORIO SULLE PICCOLE IMPRESE INNOVATIVE TRIESTE. Imprese innovative in Friuli Venezia Giulia: un esperimento di analisi congiunta*, by Lucia Rotaris, July
- 9/03 *Regional Industrial Policies in Germany*, by Helmut Karl, Antje Möller and Rüdiger Wink, July
- 10/03 *SERIE SPECIALE. OSSERVATORIO SULLE PICCOLE IMPRESE INNOVATIVE TRIESTE. L'innovazione nelle new technology-based firms in Friuli-Venezia Giulia*, by Paola Guerra, October
- 11/03 *SERIE SPECIALE. Lo stato di salute del sistema industriale piemontese: analisi economico-finanziaria delle imprese piemontesi*, Secondo Rapporto 1998-2001, December
- 12/03 *SERIE SPECIALE. Osservatorio sulla dinamica economico-finanziaria delle imprese della meccanica specializzata in Piemonte*, Primo Rapporto 1998-2001, December
- 13/03 *SERIE SPECIALE. Osservatorio sulla dinamica economico-finanziaria delle imprese delle bevande in Piemonte*, Primo Rapporto 1998-2001, December

### 2002

- 1/02 *La valutazione dell'intensità del cambiamento tecnologico: la scala Mercalli per le innovazioni*, by Mario Coccia, January

- 2/02 SERIE SPECIALE IN COLLABORAZIONE CON HERMES. *Regulatory constraints and cost efficiency of the Italian public transit systems: an exploratory stochastic frontier model*, by Massimiliano Piacenza, March
- 3/02 *Aspetti gestionali e analisi dell'efficienza nel settore della distribuzione del gas*, by Giovanni Fraquelli and Fabrizio Erbetta, March
- 4/02 *Dinamica e comportamento spaziale del trasferimento tecnologico*, by Mario Coccia, April
- 5/02 *Dimensione organizzativa e performance della ricerca: l'analisi del Consiglio Nazionale delle Ricerche*, by Mario Coccia and Secondo Rolfo, April
- 6/02 *Analisi di un sistema innovativo regionale e implicazioni di policy nel processo di trasferimento tecnologico*, by Monica Cariola and Mario Coccia, April
- 7/02 *Analisi psico-economica di un'organizzazione scientifica e implicazioni di management: l'Istituto Elettrotecnico Nazionale "G. Ferraris"*, by Mario Coccia and Alessandra Monticone, April
- 8/02 *Firm Diversification in the European Union. New Insights on Return to Core Business and Relatedness*, by Laura Rondi and Davide Vannoni, May
- 9/02 *Le nuove tecnologie di informazione e comunicazione nelle PMI: un'analisi sulla diffusione dei siti internet nel distretto di Biella*, by Simona Salinari, June
- 10/02 *La valutazione della soddisfazione di operatori di aziende sanitarie*, by Gian Franco Corio, November
- 11/02 *Analisi del processo innovativo nelle PMI italiane*, by Giuseppe Calabrese, Mario Coccia and Secondo Rolfo, November
- 12/02 *Metrics della Performance dei laboratori pubblici di ricerca e comportamento strategico*, by Mario Coccia, September
- 13/02 *Technometrics basata sull'impatto economico del cambiamento tecnologico*, by Mario Coccia, November

## 2001

- 1/01 *Competitività e divari di efficienza nell'industria italiana*, by Giovanni Fraquelli, Piercarlo Frigero and Fulvio Sugliano, January
- 2/01 *Waste water purification in Italy: costs and structure of the technology*, by Giovanni Fraquelli and Roberto Giandrone, January
- 3/01 SERIE SPECIALE IN COLLABORAZIONE CON HERMES. *Il trasporto pubblico locale in Italia: variabili esplicative dei divari di costo tra le imprese*, by Giovanni Fraquelli, Massimiliano Piacenza and Graziano Abrate, February
- 4/01 *Relatedness, Coherence, and Coherence Dynamics: Empirical Evidence from Italian Manufacturing*, by Stefano Valvano and Davide Vannoni, February
- 5/01 *Il nuovo panel Ceris su dati di impresa 1977-1997*, by Luigi Benfratello, Diego Margon, Laura Rondi, Alessandro Sembenelli, Davide Vannoni, Silvana Zelli, Maria Zittino, October
- 6/01 *SMEs and innovation: the role of the industrial policy in Italy*, by Giuseppe Calabrese and Secondo Rolfo, May
- 7/01 *Le martingale: aspetti teorici ed applicativi*, by Fabrizio Erbetta and Luca Agnello, September
- 8/01 *Prime valutazioni qualitative sulle politiche per la R&S in alcune regioni italiane*, by Elisa Salvador, October
- 9/01 *Accords technology transfer-based: théorie et méthodologie d'analyse du processus*, by Mario Coccia, October
- 10/01 *Trasferimento tecnologico: indicatori spaziali*, by Mario Coccia, November
- 11/01 *Does the run-up of privatisation work as an effective incentive mechanism? Preliminary findings from a sample of Italian firms*, by Fabrizio Erbetta, October
- 12/01 SERIE SPECIALE IN COLLABORAZIONE CON HERMES. *Costs and Technology of Public Transit Systems in Italy: Some Insights to Face Inefficiency*, by Giovanni Fraquelli, Massimiliano Piacenza and Graziano Abrate, October
- 13/01 *Le NTBFs a Sophia Antipolis, analisi di un campione di imprese*, by Alessandra Ressico, December

## 2000

- 1/00 *Trasferimento tecnologico: analisi spaziale*, by Mario Coccia, March
- 2/00 *Poli produttivi e sviluppo locale: una indagine sulle tecnologie alimentari nel mezzogiorno*, by Francesco G. Leone, March
- 3/00 *La mission del top management di aziende sanitarie*, by Gian Franco Corio, March
- 4/00 *La percezione dei fattori di qualità in Istituti di ricerca: una prima elaborazione del caso Piemonte*, by Gian Franco Corio, March
- 5/00 *Una metodologia per misurare la performance endogena nelle strutture di R&S*, by Mario Coccia, April
- 6/00 *Soddisfazione, coinvolgimento lavorativo e performance della ricerca*, by Mario Coccia, May
- 7/00 *Foreign Direct Investment and Trade in the EU: Are They Complementary or Substitute in Business Cycles Fluctuations?*, by Giovanna Segre, April
- 8/00 *L'attesa della privatizzazione: una minaccia credibile per il manager?*, by Giovanni Fraquelli, May

- 9/00 *Gli effetti occupazionali dell'innovazione. Verifica su un campione di imprese manifatturiere italiane*, by Marina Di Giacomo, May
- 10/00 *Investment, Cash Flow and Managerial Discretion in State-owned Firms. Evidence Across Soft and Hard Budget Constraints*, by Elisabetta Bertero and Laura Rondi, June
- 11/00 *Effetti delle fusioni e acquisizioni: una rassegna critica dell'evidenza empirica*, by Luigi Benfratello, June
- 12/00 *Identità e immagine organizzativa negli Istituti CNR del Piemonte*, by Paolo Enria, August
- 13/00 *Multinational Firms in Italy: Trends in the Manufacturing Sector*, by Giovanna Segre, September
- 14/00 *Italian Corporate Governance, Investment, and Finance*, by Robert E. Carpenter and Laura Rondi, October
- 15/00 *Multinational Strategies and Outward-Processing Trade between Italy and the CEECs: The Case of Textile-Clothing*, by Giovanni Balcet and Giampaolo Vitali, December
- 16/00 *The Public Transit Systems in Italy: A Critical Analysis of the Regulatory Framework*, by Massimiliano Piacenza, December

### 1999

- 1/99 *La valutazione delle politiche locali per l'innovazione: il caso dei Centri Servizi in Italia*, by Monica Cariola and Secondo Rolfo, January
- 2/99 *Trasferimento tecnologico ed autofinanziamento: il caso degli Istituti Cnr in Piemonte*, by Mario Coccia, March
- 3/99 *Empirical studies of vertical integration: the transaction cost orthodoxy*, by Davide Vannoni, March
- 4/99 *Developing innovation in small-medium suppliers: evidence from the Italian car industry*, by Giuseppe Calabrese, April
- 5/99 *Privatization in Italy: an analysis of factors productivity and technical efficiency*, by Giovanni Fraquelli and Fabrizio Erbetta, March
- 6/99 *New Technology Based-Firms in Italia: analisi di un campione di imprese triestine*, by Anna Maria Gimigliano, April
- 7/99 *Trasferimento tacito della conoscenza: gli Istituti CNR dell'Area di Ricerca di Torino*, by Mario Coccia, May
- 8/99 *Struttura ed evoluzione di un distretto industriale piemontese: la produzione di casalinghi nel Cusio*, by Alessandra Ressico, June
- 9/99 *Analisi sistemica della performance nelle strutture di ricerca*, by Mario Coccia, September
- 10/99 *The entry mode choice of EU leading companies (1987-1997)*, by Giampaolo Vitali, November
- 11/99 *Esperimenti di trasferimento tecnologico alle piccole e medie imprese nella Regione Piemonte*, by Mario Coccia, November
- 12/99 *A mathematical model for performance evaluation in the R&D laboratories: theory and application in Italy*, by Mario Coccia, November
- 13/99 *Trasferimento tecnologico: analisi dei fruitori*, by Mario Coccia, December
- 14/99 *Beyond profitability: effects of acquisitions on technical efficiency and productivity in the Italian pasta industry*, by Luigi Benfratello, December
- 15/99 *Determinanti ed effetti delle fusioni e acquisizioni: un'analisi sulla base delle notifiche alle autorità antitrust*, by Luigi Benfratello, December

### 1998

- 1/98 *Alcune riflessioni preliminari sul mercato degli strumenti multimediali*, by Paolo Vaglio, January
- 2/98 *Before and after privatization: a comparison between competitive firms*, by Giovanni Fraquelli and Paola Fabbri, January
- 3/98 **Not available**
- 4/98 *Le importazioni come incentivo alla concorrenza: l'evidenza empirica internazionale e il caso del mercato unico europeo*, by Anna Bottasso, May
- 5/98 *SEM and the changing structure of EU Manufacturing, 1987-1993*, by Stephen Davies, Laura Rondi and Alessandro Sembenelli, November
- 6/98 *The diversified firm: non formal theories versus formal models*, by Davide Vannoni, December
- 7/98 *Managerial discretion and investment decisions of state-owned firms: evidence from a panel of Italian companies*, by Elisabetta Bertero and Laura Rondi, December
- 8/98 *La valutazione della R&S in Italia: rassegna delle esperienze del C.N.R. e proposta di un approccio alternativo*, by Domiziano Boschi, December
- 9/98 *Multidimensional Performance in Telecommunications, Regulation and Competition: Analysing the European Major Players*, by Giovanni Fraquelli and Davide Vannoni, December

### 1997

- 1/97 *Multinationality, diversification and firm size. An empirical analysis of Europe's leading firms*, by Stephen Davies, Laura Rondi and Alessandro Sembenelli, January

- 2/97 *Qualità totale e organizzazione del lavoro nelle aziende sanitarie*, by Gian Franco Corio, January
- 3/97 *Reorganising the product and process development in Fiat Auto*, by Giuseppe Calabrese, February
- 4/97 *Buyer-supplier best practices in product development: evidence from car industry*, by Giuseppe Calabrese, April
- 5/97 *L'innovazione nei distretti industriali. Una rassegna ragionata della letteratura*, by Elena Ragazzi, April
- 6/97 *The impact of financing constraints on markups: theory and evidence from Italian firm level data*, by Anna Bottasso, Marzio Galeotti and Alessandro Sembenelli, April
- 7/97 *Capacità competitiva e evoluzione strutturale dei settori di specializzazione: il caso delle macchine per confezionamento e imballaggio*, by Secondo Rolfo, Paolo Vaglio, April
- 8/97 *Tecnologia e produttività delle aziende elettriche municipalizzate*, by Giovanni Fraquelli and Piercarlo Frigero, April
- 9/97 *La normativa nazionale e regionale per l'innovazione e la qualità nelle piccole e medie imprese: leggi, risorse, risultati e nuovi strumenti*, by Giuseppe Calabrese, June
- 10/97 *European integration and leading firms' entry and exit strategies*, by Steve Davies, Laura Rondi and Alessandro Sembenelli, April
- 11/97 *Does debt discipline state-owned firms? Evidence from a panel of Italian firms*, by Elisabetta Bertero and Laura Rondi, July
- 12/97 *Distretti industriali e innovazione: i limiti dei sistemi tecnologici locali*, by Secondo Rolfo and Giampaolo Vitali, July
- 13/97 *Costs, technology and ownership form of natural gas distribution in Italy*, by Giovanni Fraquelli and Roberto Giandrone, July
- 14/97 *Costs and structure of technology in the Italian water industry*, by Paola Fabbri and Giovanni Fraquelli, July
- 15/97 *Aspetti e misure della customer satisfaction/dissatisfaction*, by Maria Teresa Morana, July
- 16/97 *La qualità nei servizi pubblici: limiti della normativa UNI EN 29000 nel settore sanitario*, by Efisio Ibba, July
- 17/97 *Investimenti, fattori finanziari e ciclo economico*, by Laura Rondi and Alessandro Sembenelli, rivisto sett. 1998
- 18/97 *Strategie di crescita esterna delle imprese leader in Europa: risultati preliminari dell'utilizzo del data-base Ceris "100 top EU firms' acquisition/divestment database 1987-1993"*, by Giampaolo Vitali and Marco Orecchia, December
- 19/97 *Struttura e attività dei Centri Servizi all'innovazione: vantaggi e limiti dell'esperienza italiana*, by Monica Cariola, December
- 20/97 *Il comportamento ciclico dei margini di profitto in presenza di mercati del capitale meno che perfetti: un'analisi empirica su dati di impresa in Italia*, by Anna Bottasso, December

## 1996

- 1/96 *Aspetti e misure della produttività. Un'analisi statistica su tre aziende elettriche europee*, by Donatella Cangialosi, February
- 2/96 *L'analisi e la valutazione della soddisfazione degli utenti interni: un'applicazione nell'ambito dei servizi sanitari*, by Maria Teresa Morana, February
- 3/96 *La funzione di costo nel servizio idrico. Un contributo al dibattito sul metodo normalizzato per la determinazione della tariffa del servizio idrico integrato*, by Giovanni Fraquelli and Paola Fabbri, February
- 4/96 *Coerenza d'impresa e diversificazione settoriale: un'applicazione alle società leaders nell'industria manifatturiera europea*, by Marco Orecchia, February
- 5/96 *Privatizzazioni: meccanismi di collocamento e assetti proprietari. Il caso STET*, by Paola Fabbri, February
- 6/96 *I nuovi scenari competitivi nell'industria delle telecomunicazioni: le principali esperienze internazionali*, by Paola Fabbri, February
- 7/96 *Accordi, joint-venture e investimenti diretti dell'industria italiana nella CSI: Un'analisi qualitativa*, by Chiara Monti and Giampaolo Vitali, February
- 8/96 *Verso la riconversione di settori utilizzatori di amianto. Risultati di un'indagine sul campo*, by Marisa Gerbi Sethi, Salvatore Marino and Maria Zittino, February
- 9/96 *Innovazione tecnologica e competitività internazionale: quale futuro per i distretti e le economie locali*, by Secondo Rolfo, March
- 10/96 *Dati disaggregati e analisi della struttura industriale: la matrice europea delle quote di mercato*, by Laura Rondi, March
- 11/96 *Le decisioni di entrata e di uscita: evidenze empiriche sui maggiori gruppi italiani*, by Alessandro Sembenelli and Davide Vannoni, April
- 12/96 *Le direttrici della diversificazione nella grande industria italiana*, by Davide Vannoni, April
- 13/96 *R&S cooperativa e non-cooperativa in un duopolio misto con spillovers*, by Marco Orecchia, May
- 14/96 *Unità di studio sulle strategie di crescita esterna delle imprese italiane*, by Giampaolo Vitali and Maria Zittino, July. **Not available**
- 15/96 *Uno strumento di politica per l'innovazione: la prospezione tecnologica*, by Secondo Rolfo, September



- 16/96 *L'introduzione della Qualità Totale in aziende ospedaliere: aspettative ed opinioni del middle management*, by Gian Franco Corio, September
- 17/96 *Shareholders' voting power and block transaction premia: an empirical analysis of Italian listed companies*, by Giovanna Nicodano and Alessandro Sembenelli, November
- 18/96 *La valutazione dell'impatto delle politiche tecnologiche: un'analisi classificatoria e una rassegna di alcune esperienze europee*, by Domiziano Boschi, November
- 19/96 *L'industria orafa italiana: lo sviluppo del settore punta sulle esportazioni*, by Anna Maria Gaibisso and Elena Ragazzi, November
- 20/96 *La centralità dell'innovazione nell'intervento pubblico nazionale e regionale in Germania*, by Secondo Rolfo, December
- 21/96 *Ricerca, innovazione e mercato: la nuova politica del Regno Unito*, by Secondo Rolfo, December
- 22/96 *Politiche per l'innovazione in Francia*, by Elena Ragazzi, December
- 23/96 *La relazione tra struttura finanziaria e decisioni reali delle imprese: una rassegna critica dell'evidenza empirica*, by Anna Bottasso, December

### 1995

- 1/95 *Form of ownership and financial constraints: panel data evidence on leverage and investment choices by Italian firms*, by Fabio Schiantarelli and Alessandro Sembenelli, March
- 2/95 *Regulation of the electric supply industry in Italy*, by Giovanni Fraquelli and Elena Ragazzi, March
- 3/95 *Restructuring product development and production networks: Fiat Auto*, by Giuseppe Calabrese, September
- 4/95 *Explaining corporate structure: the MD matrix, product differentiation and size of market*, by Stephen Davies, Laura Rondi and Alessandro Sembenelli, November
- 5/95 *Regulation and total productivity performance in electricity: a comparison between Italy, Germany and France*, by Giovanni Fraquelli and Davide Vannoni, December
- 6/95 *Strategie di crescita esterna nel sistema bancario italiano: un'analisi empirica 1987-1994*, by Stefano Olivero and Giampaolo Vitali, December
- 7/95 *Panel Ceris su dati di impresa: aspetti metodologici e istruzioni per l'uso*, by Diego Margon, Alessandro Sembenelli and Davide Vannoni, December

### 1994

- 1/94 *Una politica industriale per gli investimenti esteri in Italia: alcune riflessioni*, by Giampaolo Vitali, May
- 2/94 *Scelte cooperative in attività di ricerca e sviluppo*, by Marco Orecchia, May
- 3/94 *Perché le matrici intersettoriali per misurare l'integrazione verticale?*, by Davide Vannoni, July
- 4/94 *Fiat Auto: A simultaneous engineering experience*, by Giuseppe Calabrese, August

### 1993

- 1/93 *Spanish machine tool industry*, by Giuseppe Calabrese, November
- 2/93 *The machine tool industry in Japan*, by Giampaolo Vitali, November
- 3/93 *The UK machine tool industry*, by Alessandro Sembenelli and Paul Simpson, November
- 4/93 *The Italian machine tool industry*, by Secondo Rolfo, November
- 5/93 *Firms' financial and real responses to business cycle shocks and monetary tightening: evidence for large and small Italian companies*, by Laura Rondi, Brian Sack, Fabio Schiantarelli and Alessandro Sembenelli, December

Free copies are distributed on request to Universities, Research Institutes, researchers, students, etc.

**Please, write to:**

MARIA ZITTINO

Working Papers Coordinator

CERIS-CNR

Via Real Collegio, 30; 10024 Moncalieri (Torino), Italy

Tel. +39 011 6824.914; Fax +39 011 6824.966; [m.zittino@ceris.cnr.it](mailto:m.zittino@ceris.cnr.it); <http://www.ceris.cnr.it>

**Copyright © 2004 by CNR-Ceris**

All rights reserved. Parts of this paper may be reproduced with the permission of the author(s) and quoting the authors and CNR-Ceris